**MATURITNÍ PRÁCE**

Obohacené zapínací tlačítko se zabezpečovací funkcionalitou

Studijní obor: IT

Třída: C4

Školní rok: 2022/2023

Jméno a příjmení: Vít Bezouška

Vedoucí práce: Radek Lampíř

**Abstrakt**

**Abstract**

**Klíčová slova**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval(a) samostatně a použil(a) jsem literární prameny a informace, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

V Praze dne …………. ……..……………………

jméno a příjmení

Obsah

[Úvod 7](#_heading=h.gjdgxs)

[Nápad a první krůčky 8](#_heading=h.30j0zll)

[První použití Arduina 8](#_heading=h.1fob9te)

[Nedostatek RAM 9](#_heading=h.3znysh7)

[Komunikace mezi kalkulačkami Texas Instruments 10](#_heading=h.2et92p0)

[Komunikace mezi Arduiny 11](#_heading=h.tyjcwt)

[Shrnutí 11](#_heading=h.3dy6vkm)

[Cíle práce 13](#_heading=h.1t3h5sf)

[Zabezpečovací zařízení 13](#_heading=h.4d34og8)

[Zamezit zapnutí počítače 13](#_heading=h.2s8eyo1)

[Zamezit přístupu k datům anebo k uživatelskému účtu 13](#_heading=h.17dp8vu)

[Ukazatel času nebo dnešního data 14](#_heading=h.3rdcrjn)

[Prezentovatelné šasí 15](#_heading=h.26in1rg)

[Průběh práce 16](#_heading=h.lnxbz9)

[Začátek zabezpečování 16](#_heading=h.35nkun2)

[Problémy s upraveným firmwarem Una 17](#_heading=h.1ksv4uv)

[Haló, tady Windowsovi! 17](#_heading=h.44sinio)

[Pčtrosí řešení na přestupný problém 18](#_heading=h.2jxsxqh)

[Failsafe design komunikace 19](#_heading=h.z337ya)

[Ostatní vlastnosti skriptu 19](#_heading=h.3j2qqm3)

[Relativně Frantické Inkódovací Dilema 20](#_heading=h.1y810tw)

[AES aneb 16 bytů k absolutní bezpečnosti 20](#_heading=h.4i7ojhp)

[Princip šifrování 20](#_heading=h.2xcytpi)

[Zranitelnost vůči bruteforce útokům 21](#_heading=h.1ci93xb)

[Zranitelnost vůči přečtení programového kódu 22](#_heading=h.3whwml4)

[Zranitelnost vůči připojení do cizího počítače 23](#_heading=h.2bn6wsx)

[Jak zapsat zašifrované heslo na čip? 23](#_heading=h.qsh70q)

[Implementace 24](#_heading=h.3as4poj)

[Murphyho zákon 24](#_heading=h.1pxezwc)

[Lokaliya4n9 probl0mz 25](#_heading=h.49x2ik5)

[Châssis de acide polylactique 25](#_heading=h.2p2csry)

[Jak Vítek na krabičce dělal 26](#_heading=h.147n2zr)

[Design 26](#_heading=h.3o7alnk)

[Struktura práce 28](#_heading=h.23ckvvd)

[Titulní strana 28](#_heading=h.ihv636)

[Abstrakt, Abstract, Klíčová slova 28](#_heading=h.32hioqz)

[Prohlášení 28](#_heading=h.1hmsyys)

[Obsah 29](#_heading=h.41mghml)

[Úvod 29](#_heading=h.2grqrue)

[Vlastní text práce 29](#_heading=h.vx1227)

[Závěr 30](#_heading=h.3fwokq0)

[Seznam použitých zdrojů 30](#_heading=h.1v1yuxt)

[Seznam příloh a přílohy 31](#_heading=h.4f1mdlm)

[Základní formátování 31](#_heading=h.2u6wntf)

[PowerPointová prezentace (či google prezentace) 32](#_heading=h.19c6y18)

[Obhajoba maturitní práce a názorné ukázky praktické části maturitní práce 32](#_heading=h.3tbugp1)

[Způsob odevzdání maturitní práce 33](#_heading=h.28h4qwu)

# Úvod

Tato práce popisuje mnou navržené a vytvořené zabezpečovací zařízení pro stolní počítač a jeho vlastnosti.

Funkcionalita je rozdělená mezi tři mikrokontrolery Arduino, konkrétně dva modely Nano a jeden model Leonardo. Jedno Nano ovládá displej, zapíná počítač a komunikuje s pythonovým scriptem. Toto Nano a k němu připojené periferie budu nazývat displejovým nebo obrazovkovým modulem. Druhé z Nan na povel displejového modulu přečte z micro SD karty audio soubor a přehraje ho. Nazývejme jej zvukovým modulem. Úkolem Arduina Leonardo je přečíst zašifrované heslo z přiloženého RFID čipu nebo karty, dešifrovat ho, a následně ho poslat jako klávesnicový vstup do počítače. To je modul čipový.

Zabezpečení samotné je zajišťováno třemi funkcemi. Zařízení zaprvé omezuje přístup k napájecímu tlačítku počítače nepovolaným osobám tak, aby nemohly počítač vypnout ani zapnout. Zadruhé pracuje jako password manager hesel uložených na RFID čipu či kartě. Poslední funkcí je možnost nastavení automatického odhlášení z uživatelského profilu v systému Windows po odejmutí čipu či karty ze čtecího senzoru.

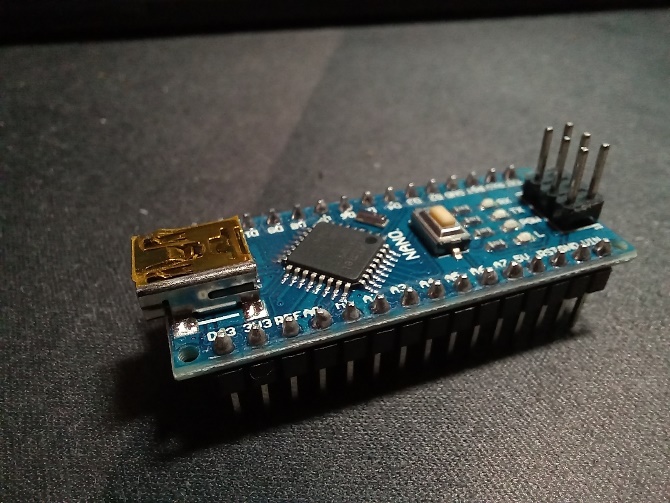
Součástí práce bylo navrhování a sestavování hardwarových obvodů, navrhování 3D tištěného šasí, programování mikrokontrollerů Arduino v C++ a vytváření pythonového scriptu, který zprostředkovává komunikaci mezi počítačem a jedním z Arduin.

# Použité materiály

Na každý projekt je potřeba trocha hardwaru. Zde je seznam toho, co bylo použito na tento projekt.

|  |  |
| --- | --- |
| Počet | Součástka |
| 2 | Arduino Nano |
| 1 | Arduino Leonardo |
| 1 | Breadboard malý |
| 2 | Breadboard velký |
| >50 | Jednopinový spoj |
| 1 | IIC LCD displej 128x32px, jednobarevný |
| 1 | Reproduktor 2W 8Ω |
| 1 | Velké červené tlačítko |
| 1 | Odklápěcí kryt na velké červené tlačítko |
| 3 | Páčkový přepínač |
| 1 | Micro SD modul |
| 1 | Micro SD karta |
| 4 | PNP tranzistor |
| 1 | Malý 10KΩ rezistor |
| 2 | Kabel, který dosáhne od krabičky k PW pinům |
| 1 | Spínač na zámek (s klíčkem) |
| 4 | Libovolná LED dioda |
| 1 | RFID modul RC-522 |
| 1 | MIFARE Classic čip |
| 1 | Šroubovací terminál na dva drátky |
| 12 | Šroubků 2x10mm |

# Popis jednotlivých součástek

Důležité je vědět nejen co použít, ale i jak to použít.

1 Arduino Nano

## Arduino Nano

Nejstarší model Arduina, který se dnes běžně používá. Arduino je vlastně jen veřejně dostupná technická specifikace, podle které si kdokoliv může nechat vytvořit své vlastní Arduino. Arduina, která já používám v tomto projektu nejsou originální, jde o verzi z Číny za zlomek ceny. Pořád ale mají naprosto identickou funkcionalitu jako kdybych si koupil originální Genuino,[[1]](#footnote-1) a protože se prodejce nesnažil tvrdit, že by šlo o oficiální výrobek, je toto Arduino naprosto legální.[[2]](#footnote-2)

Arduino Nano v sobě má mikrokontroler ATmega328 o frekvenci 16 MHz a samo o sobě spotřebovává zhruba 20 mA při 5V DC. Tato spotřeba se samozřejmě zvyšuje, když k němu připojíme nějakou periferii. Každý z jeho 22 I/O[[3]](#footnote-3) pinů totiž dokáže poskytnout až 40 mA. Arduino ale nemusíme napájet přes USB port. Někdy může být vhodnější mít samostatnou baterii, ke které Arduino rovnou připojíme. V takovém případě by baterie měla mít napětí mezi 7 a 12V DC. Co se týče úložiště, má Nano k dispozici zhruba 30KB flash paměti z celkových 32, ty 2KB zabírá bootloader[[4]](#footnote-4). Operační paměť Arduina má kapacitu 2KB.Jak se s Arduinem pracuje?

Arduino Nano se k počítači připojuje do USB portu počítače pomocí mini USB kabelu. Počítači se ohlásí jako zařízení připojené přes emulovaný COM port.

### Co je COM port?

COM porty byly sériové porty, které se dříve používaly k připojení tiskáren, obrazovek a dalších periferií v dobách před USB.

2 Konektor DE-9 přes který původně probíhala komunikace COM (volné dílo)

Dnes už na počítačích tyto porty fyzicky nenajdeme, ale některé periferie si i tak vyžádají, aby jim byl přidělen virtuální COM port, protože jinak komunikovat neumí. Operační systém tedy „vytvoří“ nový COM port, který těmto zařízením přiřadí. Ten nový port sice fyzicky neexistuje, ale programy, ani připojená zařízení rozdíl nepoznají.

Proč se ale tato stará technologie pořád používá? Hlavním důvodem je, že implementace komunikace přes COM je relativně nenáročná a může probíhat i se zařízeními připojenými přes běžné USB.

Nevýhodou tohoto způsobu komunikace je velmi nízká propustnost dat, ta se pohybuje v jednotkách až desítkách kilobitů za sekundu,[[5]](#footnote-5) ale zařízení, která COM využívají, nepotřebují, aby komunikace byla *rychlá*. Naprosto jim stačí, že *nějaká vůbec je*, protože by vyšší rychlosti buď nestíhala, anebo neposílají tak velké objemy dat, aby vyšší propustnost měla nějaký znatelný dopad.

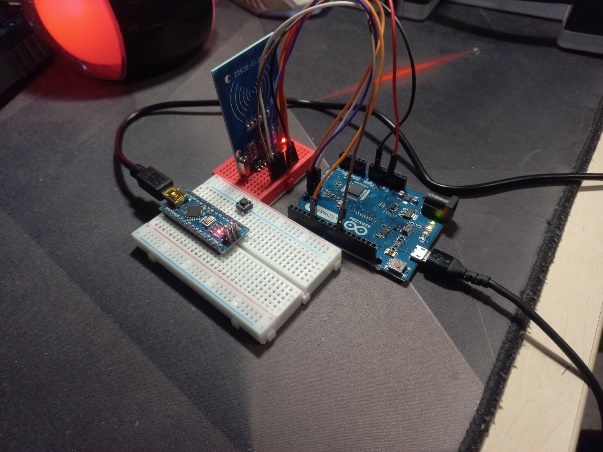
## Arduino Leonardo

3 Arduino Leonardo

Arduino Leonardo si lze představit jako větší a lepší Arduino Nano. Má o 500B větší operační paměť, pohání ho mikrokontroler ATmega32u4 a napájet ho lze 6 až 20V DC. Navíc nepotřebujeme breadboard, abychom do něj něco zapojili, drátky můžeme rovnou strkat do jeho zdířek.

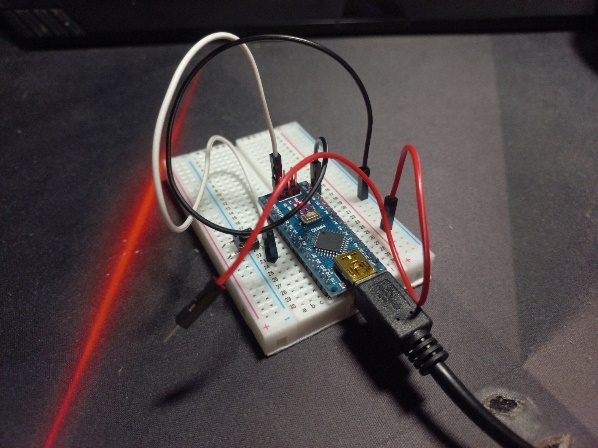
Jeho hlavní výhodou je ale schopnost posílat do počítače klávesnicové vstupy a to bez použití jiných kabelů, než micro USB, kterým ho napájíme. Můžeme pomocí něj tedy ulehčit uživatelovi práci a například za něj napsat heslo, nebo pomocí klávesové zkratky Win+L zamknout jeho počítač, pokud detekuje jeho nepřítomnost.

## Breadboardy

Breadboard je destička, pomocí které se dají navrhovat a testovat obvody bez pájení. Sloty v breadboardu jsou spojené do řádků, kraje velkých breadboardů pak do sloupců. Dovolují vývojářům a kutilům zastrčit do nich součástky, vyzkoušet funkcionalitu, a pak součástky zase vyndat a použít znova. Breadboardy mívají na stranách zářezy anebo výstupky, aby se daly spojit pro jednodušší práci.

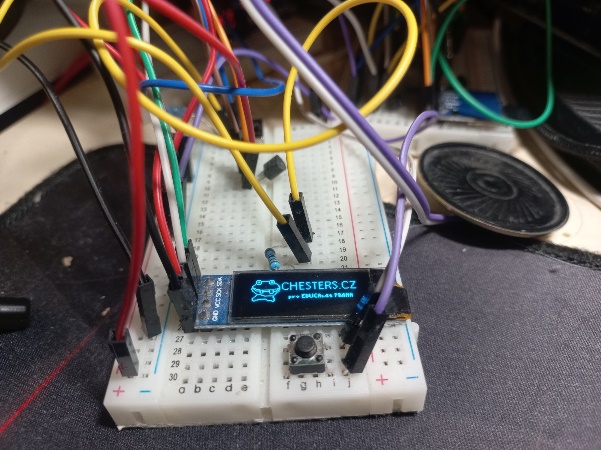
4 Příklad použití breadboardů

## Jednopinové spoje

Drátky kompatibilní s breadboardy a jinými součástkami. Dají se pořídit v jakékoliv kombinaci konektorových pohlaví.

5 Přiklad použití jednopinových spojů

## LCD displej

LCD displej, který používám má rozlišení 128x32 pixelů. Umí zobrazovat jen jednu barvu, a to světle modrou. Komunikuje s Arduinem pomocí protokolu IIC. Lze na něm zobrazovat jednotlivé pixely, čáry, obrazce, anebo rovnou obrázky, či text s vlastním fontem. Víc o zobrazování obrázků anebo používání vlastních fontů najdete v sekci použitý software.

6 Příklad použití displeje k zobrazení mého pseudonymu při startu obrazovkového modulu

## Reproduktor

7 K reproduktoru bylo potřeba připájet konektory

Reproduktor, který používám má výkon 2W a impedancí 8Ω. Výborně reprodukují vysoké frekvence, u těch nižších jsou tišší a reprodukovaný zvuk je méně kvalitní. Kvalita přehrávaného audia je ale také limitována přehrávacími schopnostmi Arduina, které dokáže z SD karty přehrát audio maximálně o 8 bitové hloubce a vzorkovací frekvenci 16KHz.

## Červené tlačítko s krytkou

Je vůbec potřeba důvod mít červené tlačítko s krytkou? To je snad sen každého kutila, někam takové tlačítko zakomponovat! Tlačítko se bez matice vloží do krytky a matice se pak nandá na závit tlačítka. Krytka pak pevně drží a chrání před nechtěným odpálením.

## Páčkový přepínač

8 "Pane prezidente, rozhodnutí je na Vás."

Běžný přepínač, který vypadá, jako z kokpitu letadla. Jeden dokáže přepínat dva oddělené obvody zároveň. Přichycovací mechanismus se silně podobá uchycovacímu mechanismu u červeného tlačítka.

## Čtečka micro SD karet a karta samotná

9 Běžná páčka, běžný přepínač.

Jeden z mála modulů, který je napájen 3.3V místo 5. Co se týče kapacity micro SD karty, úplně by stačilo 64MB. Arduino dokáže přehrát jen velmi jednoduché soubory, které nemají šanci zabrat moc místa, a to i při uložení ve formátu bez komprese, jako je .wav.

10 I dnes může několik desítek MB bohatě stačit

## PNP tranzistor

11 Kupička silikonu na nožičkách

PNP tranzistory jsou něco jako velmi jednoduchý programovací if. Propouští proud z emitteru do kolektoru jenom když je napětí v bázi zhruba o půl voltu nižší než v emitteru. Tranzistory fungují jen při nízkých napětích a nízkých proudech. Při vyšších zatíženích se používají relé.

## 10KΩ rezistor

Bez pulldown odporu na lince signálu z obrazovkového do zvukového modulu se stávalo, že zvukový modul začal sám o sobě hrát.

## Drát do počítače a zpět

12 Zhruba 25m kabelu. Sestříhat a použít.

13 Jeden chybí, ten už byl použit

Je docela jedno, co za drát použijete, ale musí být dost dlouhý. Drát, který jsem použil já byl červený CYA 1, nejlevnější druh prodávaný po metrech, vhodný víceméně na všechno.

## Spínač na zámek

14 Záložní klíček se vždycky hodí

Stejně jako většina visacích zámků lze i tento být jednoduše obejit, ale šlo mi spíš o estetickou hodnotu. Je to další vychytávka, která zaujme kutily.

## LED diody

15 Osvětlení jako v nightclubu

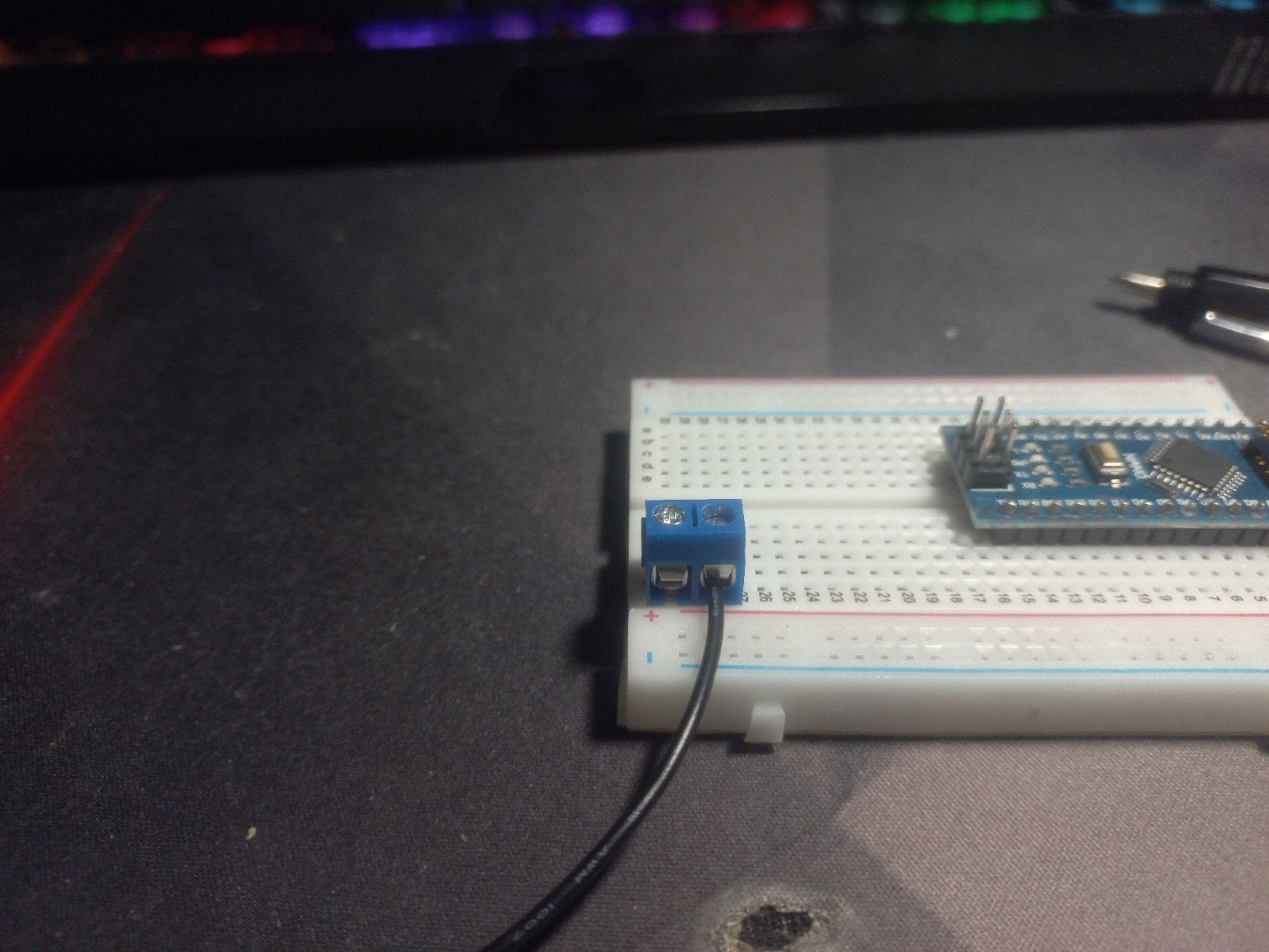
Jak jinak indikovat zapnutí, provoz, nebo funkcionalitu? Žárovky by potřebovaly víc proudu než by Arduino bylo schopno poskytnout a doutnavka běží na AC.

## RFID-RC522 a MIFARE čip

Pomocí tohoto modulu lze zapisovat i číst z kompatibilních čipů a čipových karet MIFARE CLASSIC.

## Dvojitý terminál

16 RFID modul i s čipem a čipovou kartou

Takovýto šroubovací terminál je nejjednodušší a nejspolehlivější způsob, jak připojit něco k Arduinu kabelem. Šroubek se vyšroubuje a do slotu se nacpe obnažený kabel nebo drát. Šroubek se zase zašroubuje a kabel se přiskřípne mezi konektory. I přes mírná škubání a popotahování je pak kabel dobře připojen.

17 Jeden slot volný, v druhém slotu pevně připojený kabel

## Malé šroubky

18 Netuším, co je to za kov. Možná mosaz?

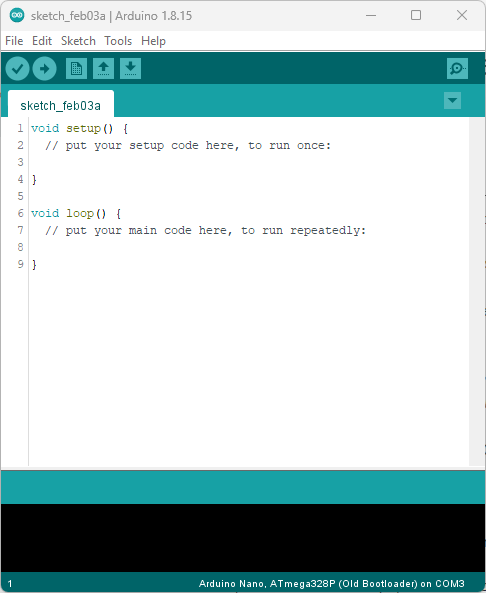
Těmito šroubky se přišroubovávají k sobě části 3D tištěné krabičky na finální produkt. Krásně se také vejdou do zdířek v Arduinu Leonardo, takže se dá nádherně připevnit ke stropu krabičky.

# Použitý software

## Word

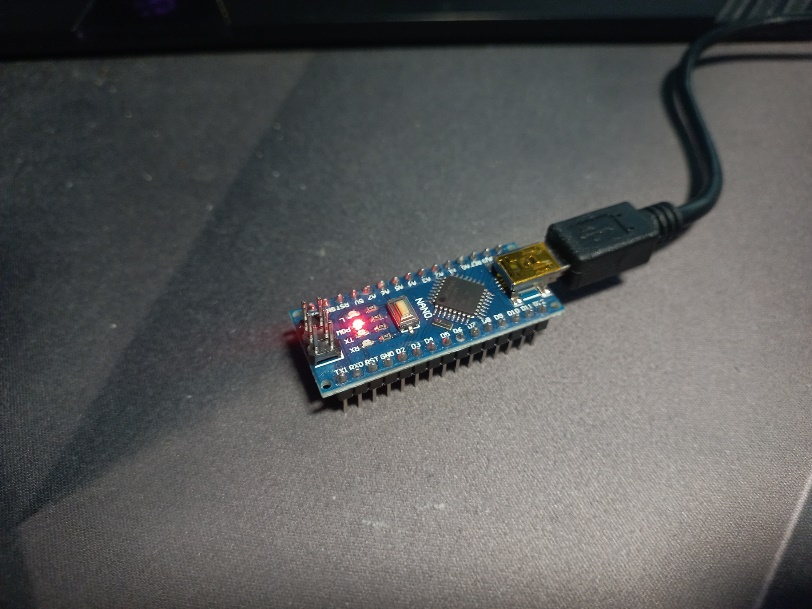
Myslím si, že nikoho nepřekvapí, že k psaní této práce byl použit Microsoft Word, konkrétně Word 2019.

## Arduino IDE

Integrované vývojové prostředí, neboli IDE je program určení k psaní dalších programů. IDE většinou podporují jen některé programovací jazyky, nebo jen některé platformy. K vývoji programů na Arduino potřebujeme takové IDE, které by nám dovolilo nejen napsat program v C++, ale i ho bezbolestně nahrát do Arduina.

Prázdný projekt v Arduino IDE

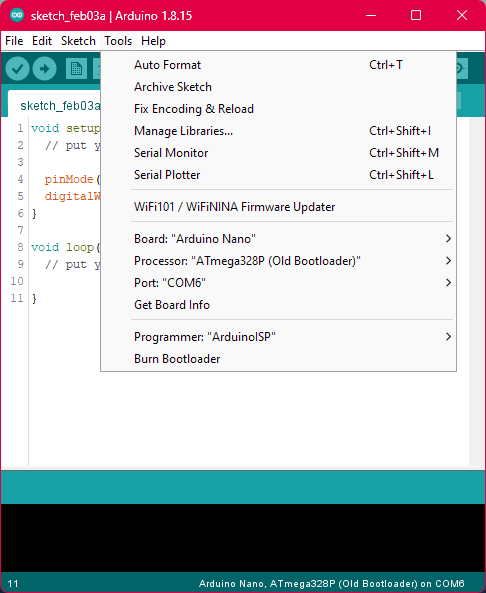
Jedno takové vyvinuli sami tvůrci Arduina. Nenabízí sice našeptávání, či jiné pokročilé funkce, ale jednoduše se přes něj nahrávají programy na Arduina. Stáhnout se dá na <https://www.arduino.cc/en/software>.

Když si IDE nainstalujeme, musíme ještě připojit samotné Arduino k počítači. Každý model má nějaký USB port, přes který ho lze jesnoduše připojit. Starší modely mívají mini USB, novější mají micro USB a ty nejnovější podporují USB C.

20 Připojené Arduino Nano

Spusťme Arduino IDE. Objeví se nám šablona nového projektu s dvěma metodami, setup() a loop(). Jak napovídají komentáře, kód v metodě setup() se spustí jednou při startu Arduina a metoda loop() se bude volat donekonečna.

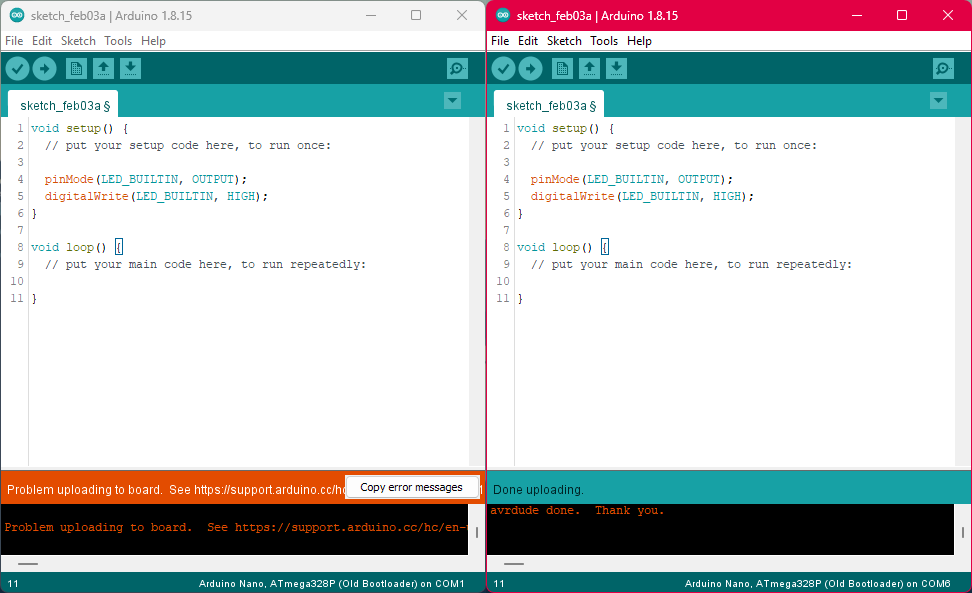
Arduino se programuje v C++. Můžeme se tedy rovnou pustit do programování. Chceme-li například, aby Arduino po zapnutí rozsvítilo LED diodu, kterou má v sobě zakomponovanou, vložíme do metody setup() následující kód:

pinMode(LED\_BUILTIN, OUTPUT);  
digitalWrite(LED\_BUILTIN, HIGH);

Tím Arduinu řekneme, že pin LED\_BUILTIN bude výstupní a že do něj chceme zapsat hodnotu HIGH, čili pustit do něj proud.

Chceme-li do Arduina kód zapsat, musíme nejdříve IDE říct, co máme za Arduino a přes který COM port s ním má komunikovat. To nastavíme v dropdown menu *Tools* na horní liště okna. Jakmile si navolíte správné nastavení, můžete kliknout na ikonku šipky vlevo nahoře. Tím dáte IDE povel zkompilovat a poslat program do Arduina.

Rozbalené menu Tools

Pokud jste zvolili správná nastavení, mělo by se Arduino rozblikat a pak by mělo rozsvítit dvě ze svých diod. Jedna indikuje zapnutí a tu druhou jste zapnuli programem.

Pokud se vám v konzolovém výstupu IDE objevila chybová hláška, není třeba panikařit. Pravděpodobně jste špatně nastavili něco v *Tools.* Vraťte se tam a zkuste jiná nastavení.

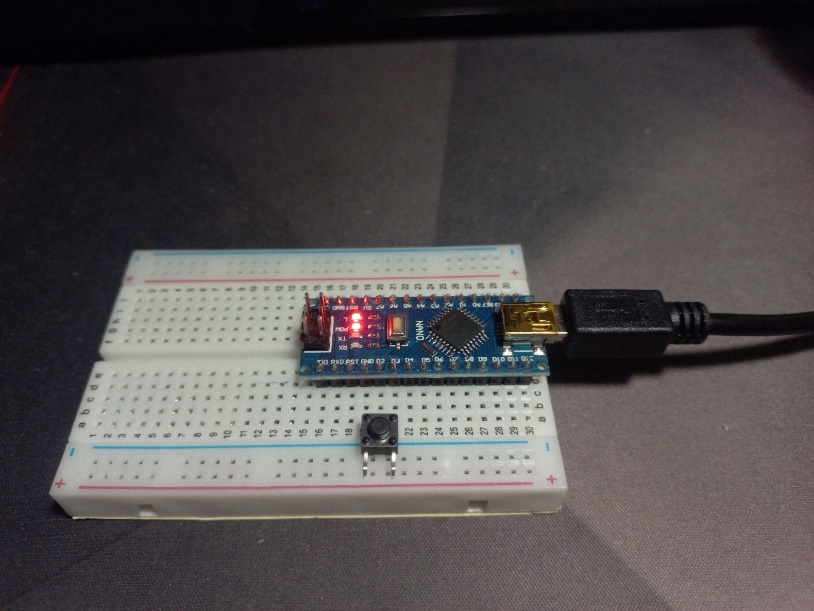
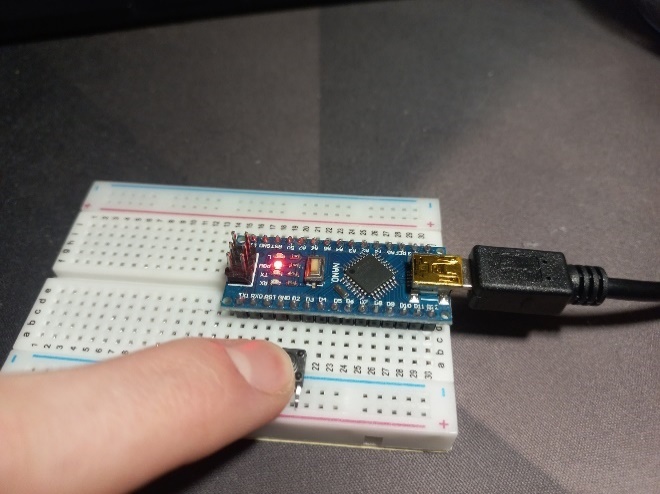
Kdybyste chtěli, aby dioda po zmáčknutí tlačítka zhasla, můžete do setup() přidat ještě:

22 Výsledek nahrávání programu s chybou a bez

pinMode(3, INPUT\_PULLUP);

Čímž řeknete Arduinu, že pin D3 bude vstupní a dokud ho nespojíte s jedním z uzemňovacích GND pinů, tak z něj Arduino vyčte hodnotu HIGH. Do loop() pak přidejte ještě

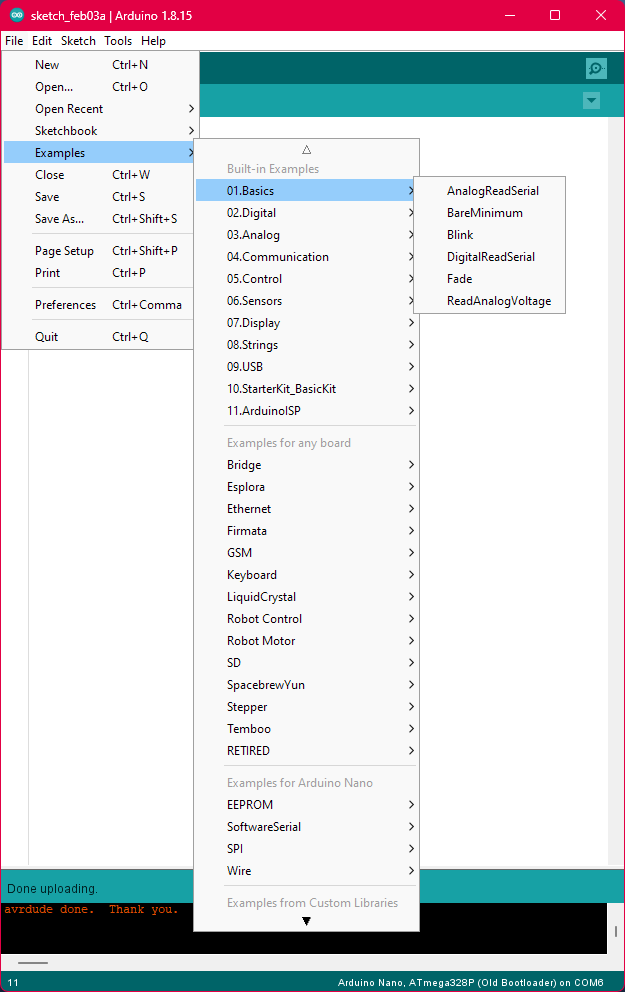
if (digitalRead(3) == LOW){  
 digitalWrite(LED\_BUILTIN, LOW);  
}

Potom jeden pin tlačítka spojte s D3 a druhý s GND. Dokud nezmáčknete tlačítko, dioda bude svítit, ale jakmile ho zmáčknete, dioda zhasne.

23 Tlačítko zmáčknuto, dioda přestala svítit

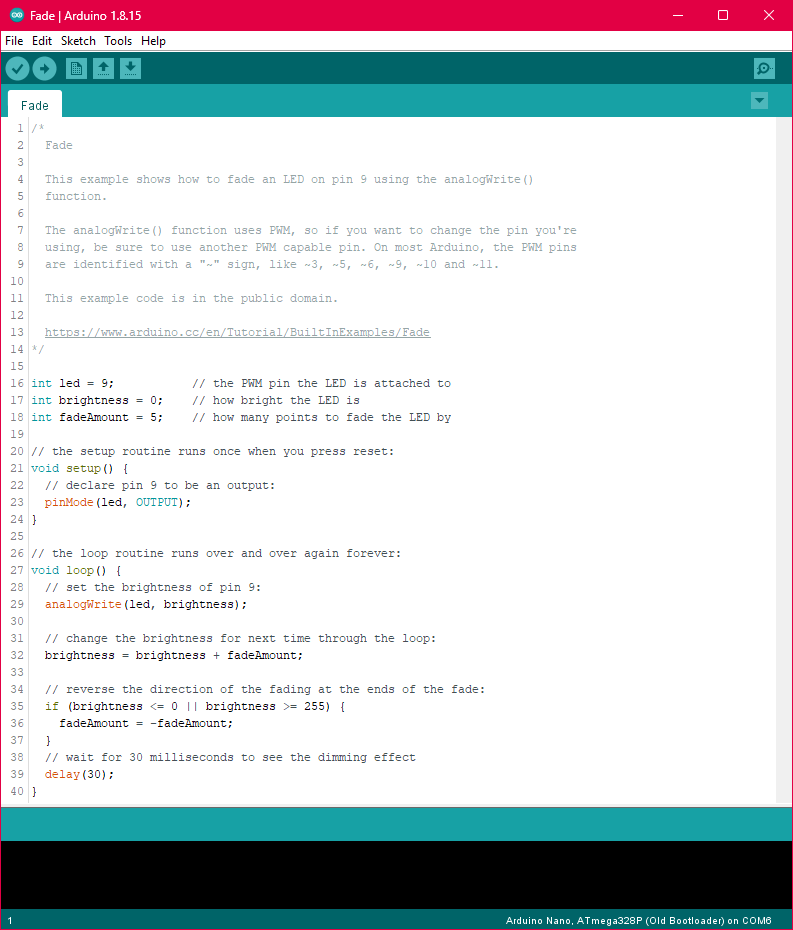
24 Tlačítko nezmáčknuto, dioda svítí

Nemusíme ale všechno programovat sami. Arduino IDE také obsahuje ukázky. V dropdown menu *File* v horní liště okna je můžeme najít pod volbou *Examples*. Ukázky mohou pocházet jak od tvůrců Arduina, tak od developerů různých knihoven.

Podívejme se třeba, jak se podle tvůrců Arduina dělá, aby LED dioda postupně zhasínala a zase se rozsvěcela. Najděte v *Examples* položku *01.Basics*, a v ní najděte *Fade*. Po rozkliknutí se vám načte už hotový projekt.

Tudy se k ukázce Fade dostaneme

Tyto projekty jsou většinou velmi dobře okomentované, aby se z nich dalo jednoduše vyčíst, která část co dělá.

 Podívejme se tedy na kód. Můžeme z něj vyčíst, že program bude do pinu 9 velmi rychle střídavě posílat a neposílat proud v poměru, který se každých 30ms zvýší o , dokud nebude na . Jakmile této hodnoty dosáhne, bude zase poměr postupně snižovat dokud nedosáhne nuly. Když k pinu 9 připojíme LED diodu, uvidíme ji postupně zhasínat a zase se rozsvěcet. Tím jsme měli možnost zjistit nejen jak funguje PWM, ale i jak ho v projektu použít.

Ukázka Fade v Arduino IDE

# Účel zařízení

Hlavním cílem tohoto modulu je pomoct i laickému uživateli zabezpečit jeho počítač před těmi nejobecnějšími kyberhrozbami a navíc trochu zpříjemnit jeho používání.

## Ochrana zapnutí počítače

Spínač na klíč funguje jako prevence neoprávněného zapnutí. Tento způsob ochrany je sice velmi jednoduchý, ale nelze ho obejít, aniž by byly zanechány známky vniknutí. Stačí na šroubky na krabičce a od počítače nalepit bezpečnostní nálepky. Když se uživatel vrátí k počítači a uvidí, že se do něj někdo pokoušel dostat, může si okamžitě změnit hesla a zabránit tak neoprávněnému přístupu do svých účtů.

27 Příklad použití bezpečnostní nálepky k zabezpečení krabičky čokoládových bonbónů

## Ochrana před fyzickými keyloggery

Keylogger je zařízení, které si zapamatovává uživatelské vstupy aniž by je blokovalo a je schopno je poté poskytnout útočníkovi, který z nich může vyčíst citlivé údaje. Proti digitálním keyloggerům se lze bránit pomocí aktuálního antivirového programu. Existují ale také fyzické keyloggery, malá zařízení se dvěma USB porty. Do jednoho se připojí zařízení, které bude odposloucháváno a ten druhý se připojí do počítače. Zařízení si všechny vstupy ukládá do interního úložiště, nebo je přeposílá dál přes wifi.[[6]](#footnote-6)

Můj modul má v sobě integrovanou čtečku MIFARE RFID karet, ze kterých přečte zašifrované heslo, sám si ho dešifruje a výsledek pošle do počítače jako klávesnicový vstup. Je tedy také zranitelný vůči tomuto útoku. Když se ale zkombinují tyto dva způsoby zadávání hesla, může to útočníkovi ztížit získávání hesla. Například když klávesnicí uživatel zadá *hes*, mým modulem *lo*, a klávesnicí ještě *123*, útočníkovi se zobrazí *hes123* a *lo* odděleně a bude pro něj těžší získat tu správnou kombinaci.

## Způsob, jak zapnout počítač bez sehnutí

Umístí-li si uživatel modul na stůl, nebude se muset shýbat k zemi, aby si zapnul počítač.

## Zpříjemnění začátku pracovní doby

Modul po spuštění počítače přehraje náhodný zvuk z připojené micro SD karty. Uživatel si na ní může nahrát své oblíbené písničky a zlepšit si náladu ještě než se pustí do práce.

## Zobrazení času nebo data

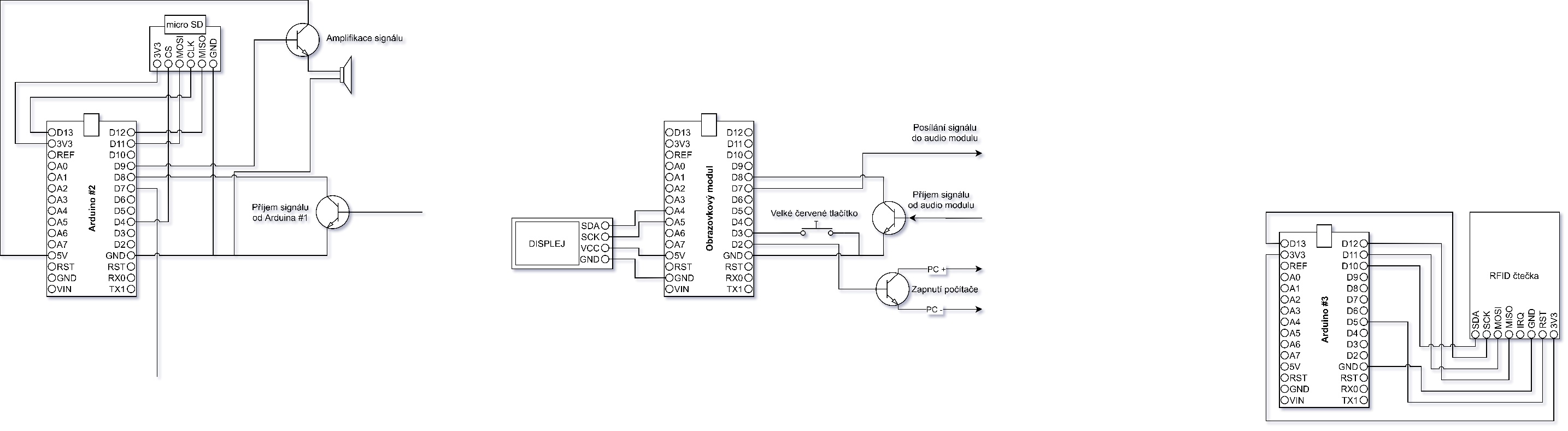
Podle toho, co si uživatel zvolí, se na displeji může při nečinnosti zobrazovat buď aktuální datum, nebo čas. Nastavení data a času se aktualizuje na systémové hodnoty při každém spuštění počítače, není tedy třeba modul přenastavovat každých půl roku.

# Popis jednotlivých modulů

V této sekci najdete detailní popis fungování všech tří modulů i pythonového scriptu.

## Obrazovkový modul

Bla bla bla



# Nápad a první krůčky

Na tomto projektu jsem pracoval už na začátku roku 2021. Jednalo se sice tou dobou jen o jednoduché spojování drátků, ale už to by se dalo považovat za začátek. Bylo to červené tlačítko s krytkou a spínač na klíček, uchycený ve zmenšené kartonové krabičce od tužek. Dvěma kabely to bylo připojené na PW+ a PW-, které se sepnuly pouze když bylo otočeno klíčkem a zároveň bylo stlačené tlačítko.

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 1 První prototyp zapínacího tlačítka, únor 2021*

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 2 Zapínání počítače pomocí spojení dvou drátků, srpen 2021 (snímek z videa)*

Tenhle systém byl velmi neefektivní a ani jsem se nesnažil o žádný cable management. Navíc jsem tou dobou ještě neměl páječku a všechny spoje byly jen velmi pofidérně přivázané takže se často stalo, že jsem do kabelů kopl a něco vypojil, většinou přímo z modulu. Protože jsem líný a nechtělo se mi kabely přilepovat zespoda ke stolu, někdy začátkem srpna téhož roku jsem tlačítko i zámek odpojil a počítač zapínal manuálním spojením těch dvou drátků. Přestože mi první Arduino dorazilo z Číny jen o několik dní později, nespojil jsem si dvě a dvě dohromady, a ještě začátkem října jsem spojoval drátky.

## První použití Arduina

Nejpozději 15.10.2021 byla v provozu první verze tlačítka s Arduinem, konkrétně nějakou neoficiální verzí varianty Nano z Aliexpressu za 3.35$. Relativně velké červené tlačítko jsem vyměnil za generický push switch, protože jeho piny se akorát vešly do prototypovací destičky, pomocí které jsem všechno propojoval. Tato verze už využívala i malý jednobarevný displej s rozlišením 128x32 pixelů a úhlopříčkou 0.91 palce, připojený pomocí protokolu I2C. Na něm se po stisknutí tlačítka zobrazila uvítací hláška, a po zhruba 30 sekundách nečinnosti jednoduchý spořič obrazovky.

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 3 Druhý prototyp zapínacího tlačítka, říjen 2021*

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 4 První pokusy s displejem, srpen 2021 (snímek z videa)*

Tato verze ale také měla pár vad. Hlavní z nich bylo časté nezapnutí počítače po stisknutí tlačítka. Důvodem bylo moje nepochopení principu fungování PNP tranzistorů. Byl jsem v přesvědčení, že aby v PNP tranzistoru proudila elektřina z emitoru do kolektoru, musí být do báze přivedeno podobné napětí jako do emitoru a do kolektoru pak bude proudit elektřina z emitoru i báze. To ale není pravda. Aby to fungovalo, musíme do báze přivést *nižší* napětí tak, aby část proudu z emitoru šla do báze, čímž se umožní proudu projít i do kolektoru[[7]](#footnote-7). Správně jsem měl mezi Arduino a bázi sériově zapojit ještě odpor, ale to jsem zjistil až později.

## Nedostatek RAM

Tou dobou jsem už začínal rozumět potenciálu, který ta malá věcička měla.   
Objednal jsem si tedy kompatibilní čtečku micro SD karet a pár malých repráčků, abych mohl naimplementovat i přehrávání nějaké znělky při zapnutí počítače. Zde jsem ale narazil na další problém: grafická knihovna, kterou jsem používal, Adafruit GFX se totiž nevešla do operační paměti mého Arduina zároveň s knihovnou na čtení SD karet, a knihovnou na přehrávání audio souborů.

Nějakou dobu jsem si nevěděl rady, ale nakonec jsem se rozhodl si pořídit ještě jedno Arduino s větší RAM. Našel jsem si na Aliexpressu variantu Uno, která je o něco větší než Nano. Bohužel jsem si ale nepřečetl popis výrobku dostatečně pozorně a spletl jsem si velikost programové paměti s operační. Arduino Uno je totiž sice větší než Nano a specifikacemi se opravdu liší. Bohužel ale ne ve velikosti RAM, ta je u obou 2KB.

To ale nevadí, protože se mi podařilo propojit ty dvě Arduina tak, aby Uno ovládalo displej a při stisku tlačítka spustilo počítač, a Nano aby jen četlo audiosoubory z SD karty a pak je přehrávalo. Dokonce to ani nebylo tak těžké, jak by se mohlo zdát. Inspiroval jsem se komunikačním protokolem kalkulaček firmy Texas Instruments.

### Komunikace mezi kalkulačkami Texas Instruments

Společnost Texas Instruments nabízí mnoho různých kalkulaček s různými funkcemi a schopnostmi. Rozhodli se ale nechat tyto kalkulačky komunikovat jak mezi sebou, tak i s počítačem pomocí jen tří drátků. Aby spolu mohly komunikovat všechny jejich kalkulačky, bylo potřeba vyřešit problém synchronizace komunikace, aby obě kalkulačky stíhaly přijímat poslaná data a zároveň se zbytečně neomezovaly v přenosové rychlosti, i když jedna z nich může pracovat na nižší frekvenci. Řešením bylo nedovolit odesílateli poslat další bit, dokud příjemce nepotvrdí příjem.

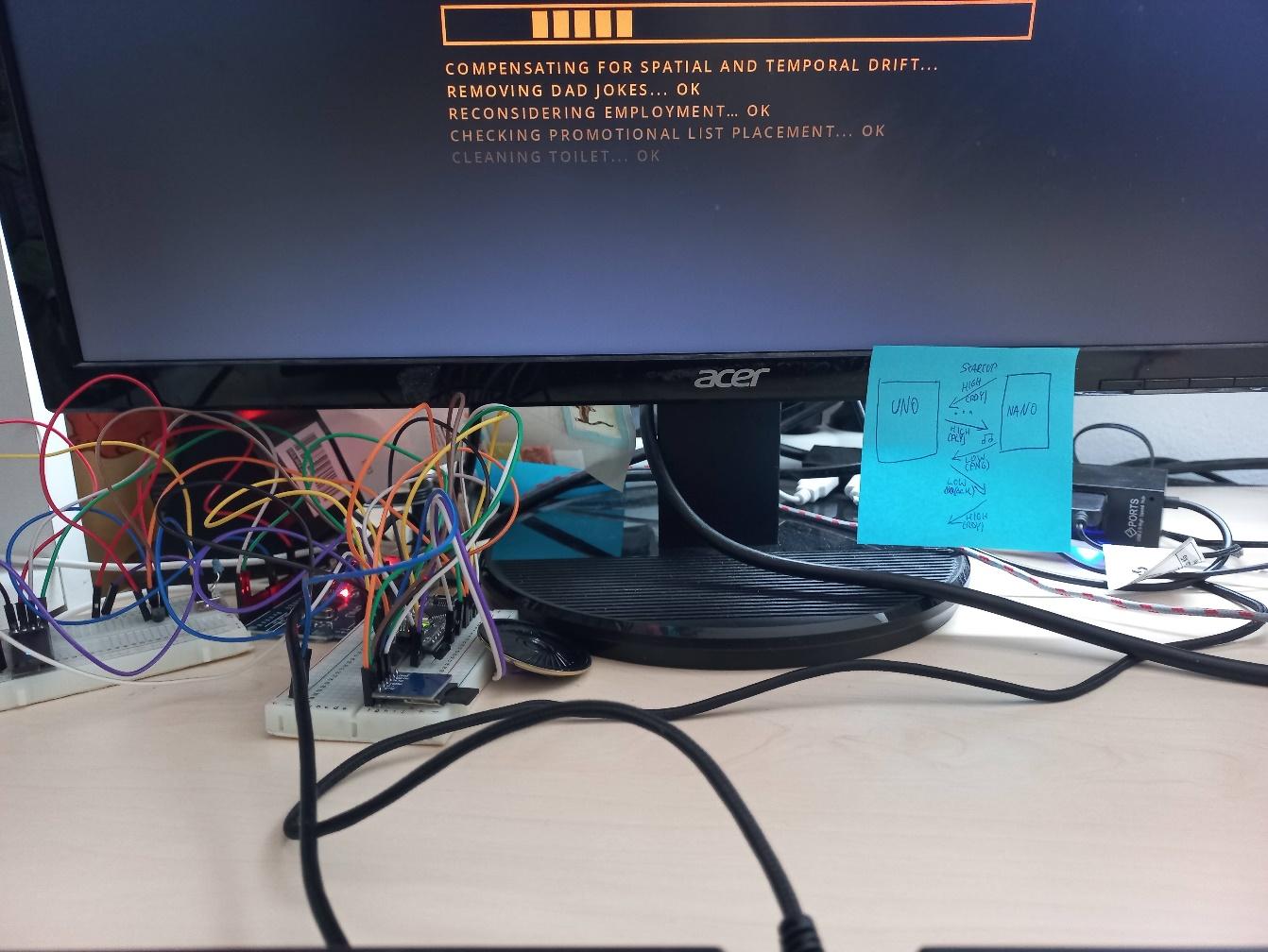
V praxi to funguje tak, že jeden drátek je společná zem, druhý je signál 1 a třetí je signál 0. Zezačátku obě kalkulačky posílají do obou signálových pinů elektřinu, a jakmile se jedna z nich rozhodne posílat data, přestane posílat elektřinu do jednoho ze spojů podle toho, kterou hodnotu chce odeslat. Jakmile druhá kalkulačka zaregistruje tuto změnu, odpojí druhý signálový pin, čímž dává první kalkulačce signál, že zprávu přečetla. Obě potom opět připojí oba piny a odesílající kalkulačka může poslat další signál. Když jsou obě kalkulačky rychlé, komunikace probíhá rychle, pokud ne, rychlost komunikace se přizpůsobí té pomalejší[[8]](#footnote-8).

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 5 Příklad komunikace mezi dvěma kalkulačkami TI*

### Komunikace mezi Arduiny

SEQ Obrázek \\* ARABIC 6 *Demonstrace mého komunikačního protokolu*

Přestože jsem se u protokolu TI inspiroval, svůj „protokol“ jsem naimplementoval po svém. Protože mi stačila opravdu velmi jednoduchá komunikace, vystačil jsem si se dvěma spoji. Podařilo se mi také zajistit funkčnost hlavního Arduina, kterým se ovládá zapínání počítače, i v případě, že to druhé, které jen spouští zvuk, neodpovídá, je rozbité, nebo třeba jen odpojené.

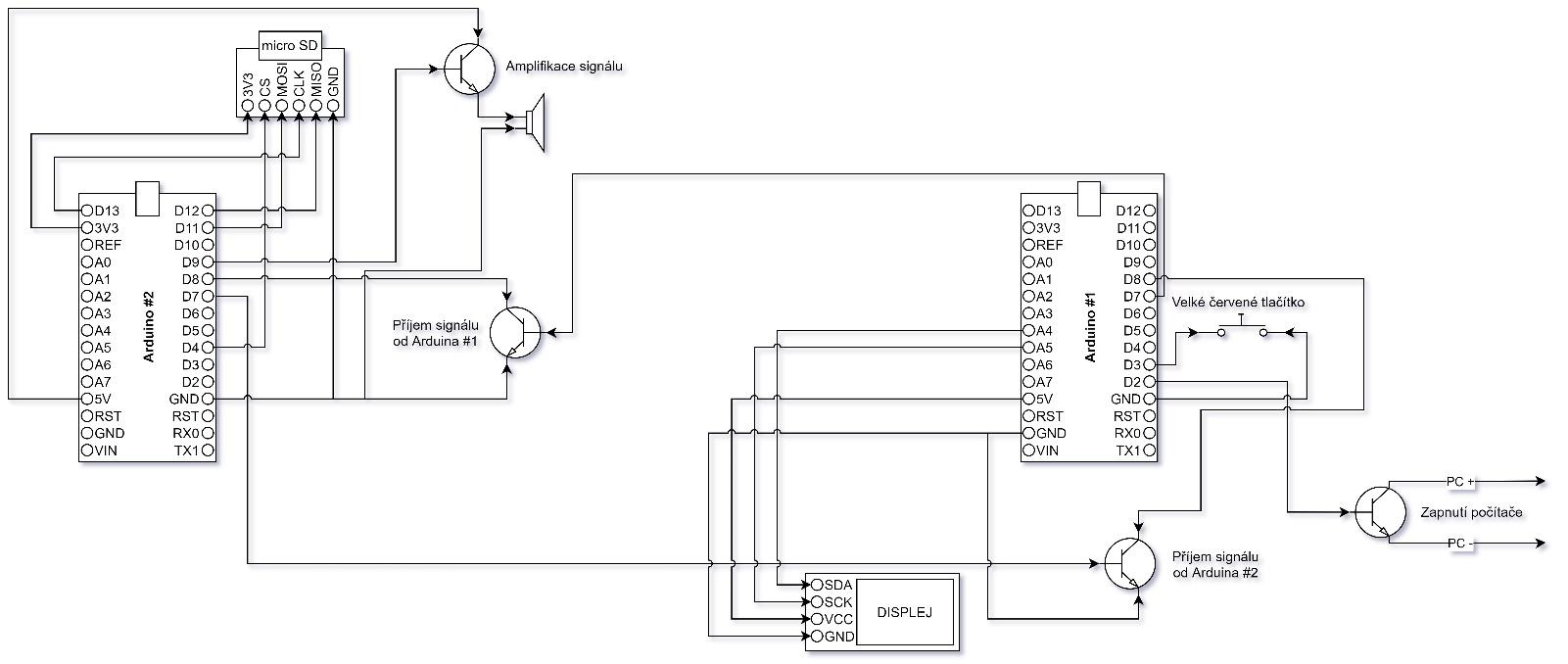
Zvukové Arduino se okamžitě po zapnutí totiž ohlásí posláním stálého signálu do hlavního Arduina, čímž dává najevo, že je připraveno. Jakmile dostane signál zpátky, znamená to, že má přehrát náhodný soubor z SD karty. Jakmile požadavek zpracuje a začne hrát, informuje o tom to hlavní Arduino zastavením odchozího signálu, načež hlavní Arduino také přestane posílat signál a de facto tím komunikaci restartuje, protože když zvukové Ino zpracuje tento signál, započne komunikaci znovu.

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 7 První podoba propojených Arduin, leden 2022*

Protože hlavní Ino ví, kdy to zvukové je a není připraveno přehrát zvuk, může o tom informovat uživatele pomocí svého displeje. Už při první implementaci tohoto protokolu jsem připravil i chybovou hlášku, informující uživatele o nepřipravenosti druhého Ina, a i načítací obrazovku pro zobrazení v době mezi odesláním signálu *hraj* a přijetím signálu *hraju.*

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 8 Chybová hláška Arduina*

## Shrnutí

V téhle konfiguraci Arduina zůstala zhruba tři čtvrtě roku až do doby, kdy jsem z projektu udělal maturitní práci. V mezičase jsem sice měnil menší grafické aspekty a přidával jsem soubory znělek, ze kterých mohl audio modul vybírat, ale funkční aspekty zůstaly stejné.

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 9 Schéma projektu ve fázi obhájení návrhu na maturitní práci, září 2022*

# Cíle práce

V rámci tohoto projektu jsem si vytyčil několik cílů. Tyto cíle se můžou lišit od těch, které jsou uvedeny v návrhu na maturitní práci, protože se mi zdálo, že by mohly být až moc ambiciózní a nemusel bych je stihnout všechny. Nechtěl jsem ale riskovat neúspěch u maturitní komise nesplněním cílů a tak jsem si oficiálně vytyčil trochu vágnější cíle, abych mohl v průběhu práce svůj projekt pozměnit.

## Zabezpečovací zařízení

První a hlavní cíl byl z projektu udělat zabezpečovací zařízení, bez kterého by případný zločinec nemohl proniknout do softwarového nitra počítače. Jsem si jist, že existují i jiné způsoby, než ty dva, které napadly zrovna mě, ale tyto mi přišly nejreálnější.

### Zamezit zapnutí počítače

Nejjednodušší způsob zabezpečení by bylo zapínání počítače na klíč. Když zločinec nemá klíč, teoreticky nemůže počítač zapnout. Prakticky by ale mohl buď otevřít PC skříň, vyndat systémový disk a nabootovat na jiném systému, anebo prostě zkratovat PW+ a PW-, buď naříznutím kabelů, nebo šroubovákem přímo na základní desce.

Aby zařízení odolalo těmto útokům, musely by počítačová bedna a zařízení být zabezpečeny proti vniknutí, a drátky přenášející PW+ a PW- nepřestřihnutelné. To mi přišlo jako nedosažitelné s mými schopnostmi a zdroji.

Nevýhodou by také bylo, že by nebylo jak jinak počítač spustit. Modul by tím byl jediným bodem selhání.

### Zamezit přístupu k datům anebo k uživatelskému účtu



Fikanější způsob je, nějakým způsobem uložit do Arduina heslo a po úspěšném ověření uživatele předat heslo počítači jako keyboard input. Arduino by se tím dalo použít třeba pro dešifrování disků pomocí BitLockeru nebo pro přihlášení do uživatelského účtu v OS.

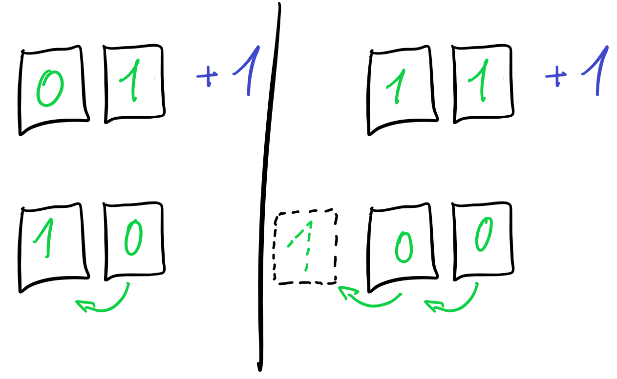
Přestože tohle řešení neochrání přihlašovací údaje proti keyloggerům, čili programům, které monitorují veškeré uživatelské vstupy a zpřístupňují je nepovolaným osobám, přišlo mi tohle řešení jako jedno z nejlepších. Proti keyloggerům se, stejně jako proti jakémukoliv jinému malwaru, dá chránit jednoduše použitím antivirového programu. Tohle je tedy přístup, který jsem si vybral.

## Ukazatel času nebo dnešního data

Vycházím z vlastní zkušenosti, když tvrdím, že toto zařízení zůstane trvale zapojené do počítače. Pokud je ten počítač dostatečně moderní a správně nastaven, dodává přes své USB porty elektřinu i když je vypnutý. Toho se dá využít a zobrazovat na displeji Arduina užitečné informace, třeba čas nebo datum. Arduino je bohužel jednoduché zařízení a po ztrátě napájení, nebo restartu, všechno zapomene a nemá způsob jak bez externích vychytávek uchovávat čas. Naštěstí umí komunikovat s počítačem pomocí sériové komunikace přes simulovaný COM port.

Chtěl jsem tedy vytvořit i jednoduchý pythonový script, který by po úspěšném nabootování do OS dal Arduinu s obrazovkou vědět kolik je hodin a kolikátého je. Tyto informace si Arduino ponechá a bude k nim přidávat čas od svého spuštění i po vypnutí počítače, a může tak nepřetržitě zobrazovat čas.

Tento přístup má dva problémy. Prvním je, že krystalový oscilátor, pomocí kterého Arduino ví, jak dlouho už je zapnuté, se může odchylovat od reality o 70s[[9]](#footnote-9) nebo v některých případech i 300s za den.[[10]](#footnote-10)

Druhý problém je, že Arduino má velmi jednoduchý procesor a nedokáže správně pracovat s velkými čísly. Po zhruba 50 dnech mu dojde místo na počítání doby od zapnutí a jemu nezbyde nic jiného, než začít počítat zase od nuly. Tomuhle se říká integer overflow. Naštěstí to není zas tak velký problém, protože se Arduino restartuje pokaždé, když se na něj pokusí pythonový script připojit. To znamená, že datum a čas budou relativně přesné po 50 dní od posledního zapnutí počítače.

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 10 Znázornění integer overflow*

## Prezentovatelné šasí

Ne, že by se mi nelíbilo neustále mít na stole porci barevných makaronů s měděnou náplní, ale přeci jen by bylo hezčí mít místo toho úhlednou plastovou krabičku. Plánoval jsem tedy pomocí školní 3D tiskárny vyrobit nějakou krabičku do které bych všechno hezky naskládal a ze které bych vedl jen jeden až dva kabely. Na tohle by se byla hodila i praxe u Prusa Research, která ale nakonec nevyšla z kapacitních důvodů poskytovatele.

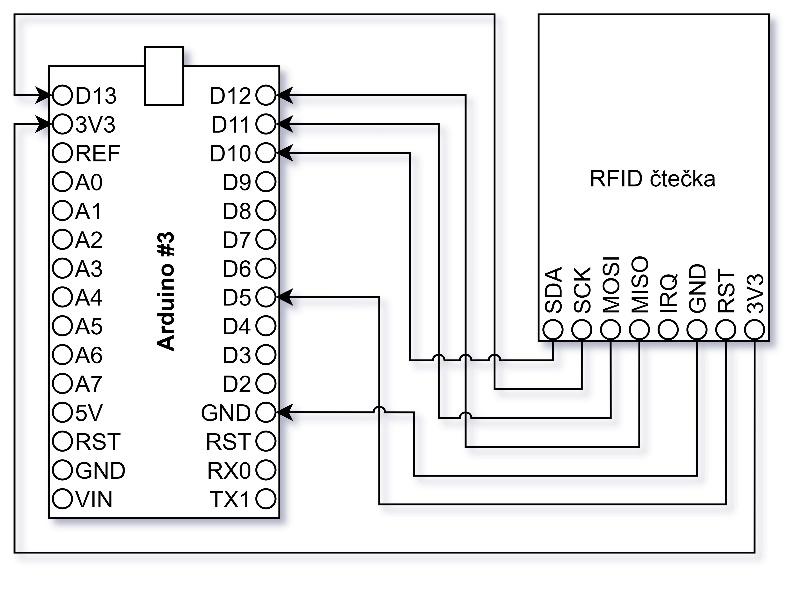
*SEQ Obrázek \\* ARABIC 11 Concept art šasí vytištěného 3D tiskárnou, září 2022*

# Průběh práce

Hned jak jsem dostal nápad na toto téma maturitní práce, ještě předtím než jsem věděl kdo mi bude dělat vedoucího, nebo jestli mi téma vůbec bude přijato, začal jsem pracovat na komunikaci mezi Arduinem a počítačem.

Protože byla komunikace potřeba víceméně jen kvůli získávání dat o času, které pak hlavní Arduino označí na displeji, nedávalo by smysl, aby komunikovalo jakékoliv jiné Arduino, než to, ke kterému je připojen displej.

## Začátek zabezpečování

Po nějaké době jsem se rozhodl, že Arduino, které bude posílat heslo do počítače, nebude ukládat heslo v plaintextu, ani v jednoduše dešifrovatelném formátu, aby bylo těžší jej prolomit. Rozhodl jsem se použít čtečku čipových karet a to heslo uložit tam, v zašifrované podobě.

Mělo to ale jeden háček. Čtečka čipových karet se k Arduinu připojuje k pinům D5, D10, D11, D12 a D13. Tři z těchto pinů ale byly už na audio modulu použity ke komunikaci se čtečkou micro SD karet, a displejové Arduino potřebovalo komunikovat s počítačem pomocí sériové komunikace, aby získalo aktuální datum a čas. Tou dobou jsem jako displejové Arduino používal moje jediné Uno, ale Uno se, jako jediný z modelů, které vlastním, dá přeprogramovat tak, aby se tvářilo jako klávesnice podle standardu HID (Human Interface Device).

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 12 Schéma připojení čtečky RFID čipů k Arduinu*

Tento problém ale nebyl neřešitelný. Stačilo to Uno nahradit dalším Nanem, a k tomu, teď už volnému, Unu připojit čtečku čipů, a nahrát na něj klávesnicový firmware. Alespoň to jsem si myslel, že to vyřeší.

## Problémy s upraveným firmwarem Una

Běžné Arduino se po připojení k počítači tváří jako že je připojené přes sériový COM port. To dovoluje počítači i Arduinu posílat si jak příkazy, tak i běžný text. Arduino k tomuto účelu používá *Serial.write()*, pokud posílá jednotlivé byty anebo *Serial.print()*, popřípadě *.println()*, chce-li poslat text, nebo čísla.

Na takto poslané příkazy by mohl na počítači čekat nějaký program, který by je zpracoval a poslal operačnímu systému odpovídající vstupy. Tento program se ale nemusí spustit například v nouzovém režimu, což by komplikovalo případné servisní zásahy.

Když na Uno nahrajeme speciální firmware, pořád se k počítači připojí přes virtuální sériový port, ale místo plaintextových komunikací posílá buffer ve kterém je uvedeno která klávesa je právě stisknuta. A právě v tom jednotném tvaru slova *klávesa* je problém. Nepodařilo se mi totiž zjistit, jak najednou poslat informaci o stisknutí více než jedné klávesy. To je potřeba hlavně pro zadávání speciálních symbolů pomocí pravého altu nebo jednoho ze shiftů.

Jak to, že toto použití Arduina není popsané? To je velmi jednoduché. Existují totiž jiné modely Arduina, které podporují komunikaci podle standardu HID bez dalších úprav firmwaru. Zákazníci si tedy radši koupí o trochu dražší model Arduina, než aby se hmoždili s tou levnější.

Rozhodl jsem se tedy kapitulovat a objednal jsem si z Číny imitaci Arduina Leonardo, což je víceméně to samé jako Uno, ale má o několik pinů víc, o zhruba 500B větší RAM a, jak už jsem zmiňoval, jednodušeji se z něj dělá klávesnice.



## Haló, tady Windowsovi!

Když jsem čekal na příchod Leonarda, neměl jsem šanci se nudit. Byla ještě spousta věcí, které jsem neměl hotové. Například jsem naimplementoval komunikaci Arduina s počítačem pomocí jednoduchého pythonového scriptu.

Tento pythonový script se aktivuje po přihlášení do Windows, detekuje všechny dostupné COM porty a připojí se na ně. Arduina, ke kterým se script připojí se automaticky restartují a ohlásí, které Arduino jsou. Pythonový script právě na toto čeká, a jakmile detekuje, který port patří Arduinu s obrazovkou, pošle mu zprávu, pomocí které mu nejen sdělí, že spojení bylo navázáno, ale také mu řekne, který spořič obrazovky má použít podle toho, jak si to uživatel nakonfiguroval (k tomu se dostaneme později). Pokud si uživatel zvolil, že Ino bude zobrazovat jen jednoduchou animaci připomínající spořič starého DVD přehrávače, skript pošle jen informaci o tom, co má Ino zobrazovat.

Pokud si ale uživatel zvolil zobrazování času nebo data, musí skript poslat Inu i čas, popřípadě datum. Aby bylo zpracovávání těchto informací pro Arduino co nejjednodušší, posílám mu jen počet sekund od minulé půlnoci. U data je to složitější, protože počty dnů se v jednotlivých měsících mění. Tady raději posílám celé datum ve formátu ANSI, tj. YYYY-MM-DD.

### Pčtrosí řešení na přestupný problém

Pokud vás zajímá, jak řeším přestupné roky, tak na to mám jednoduchou odpověď: neřeším. Roky jsou přestupné jen jednou za čtyři až osm let, a implementace systému, který by bral v potaz a počítal s devětadvacátým únorem mi přišla jako zbytečně vynaložené úsilí vzhledem k výsledku. Uložené datum na Arduinu se stejně aktualizuje při příštím restartu počítače, přinejhorším bude Arduino ukazovat jeden den špatné datum. 

Rád bych podotkl, že tento způsob řešení vzácných problémů se využívá i v seriózních situacích. Moderní operační systémy běžně řeší deadlocky tím, že je prostě neřeší. Pokud si například dva programy chtějí přečíst ten samý soubor, není v tom problém, ale pokud pak budou chtít do toho samého souboru zapisovat, OS jim to nedovolí, protože by měnili data, která ten druhý program pořád ještě čte. Čeká se tedy buď, že programy budou navrženy tak, aby k této situaci vůbec nedošlo, anebo když už k ní dojde, tak že jeden z programů ustoupí dobrovolně, anebo zasáhne uživatel a problém vyřeší.[[11]](#footnote-11)[[12]](#footnote-12)[[13]](#footnote-13)[[14]](#footnote-14)

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 13 Někdy je prostě výhodnější předstírat, že všechno je v pořádku.*

### Failsafe design komunikace

Stejně jako při implementaci komunikace mezi Arduiny, i tady jsem se snažil, aby když se něco pokazí, tak aby zbytek pořád fungoval. U počítače to bylo jednoduché: když nenajde obrazovkové Arduino ani při třetím pokusu, usoudí, že není zapojeno, a nemá tedy cenu se ho snažit kontaktovat a skript se ukončí.

U Arduina to také bylo jednoduché. Vyšli zprávu, které Ino jsi, a pokud se ti nikdo neozve, asi není zapnutý počítač a nemá cenu na zprávu čekat. Jako spořič obrazovky se použije odrážející se ikonka, protože ta jako jediná nepotřebuje k fungování žádnou informaci z vnějšího světa.

### Ostatní vlastnosti skriptu

Aby bylo jednodušší detekovat a řešit problémy v kódu, skript si v uživatelově složce v *C:/Users/* vede log do souboru *enhanced-power-button-log.txt*. Do tohoto souboru se mimo jiné ukládají také veškeré příchozí komunikace od všech připojených Arduin.

V té samé složce si uživatel může vytvořit svůj enhanced-power-button-config.txt, kam uloží svou preferenci spořiče obrazovky. Pythonový script tento soubor vždy zkontroluje a pošle do Arduina odpovídající instrukce.

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 14 Náhled do logu scriptu*

## Relativně Frantické Inkódovací Dilema

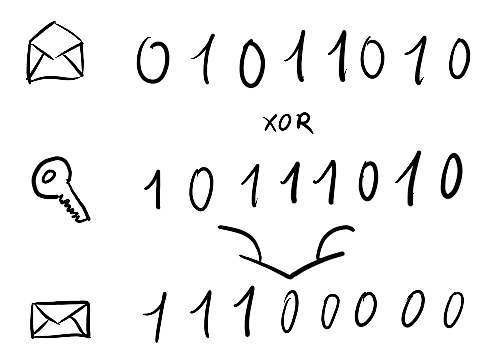
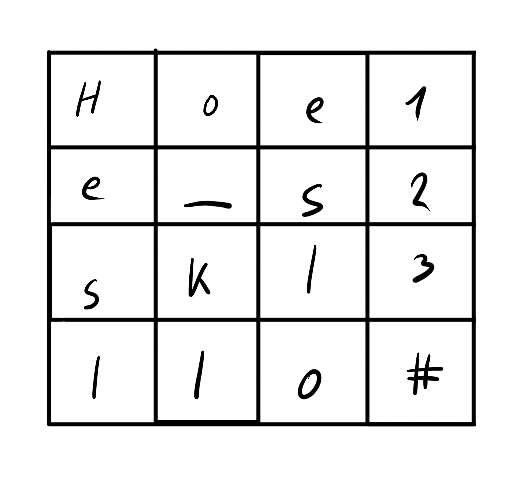
Leonardo bylo ještě stále na cestě, a tak jsem se pustil do něčeho, co můžu testovat na normálním Nanu: program na zašifrování hesla a jeho následné zapsání na RFID čip.

### AES aneb 16 bytů k absolutní bezpečnosti

K šifrování hesla jsem si vybral Advanced Encryption Standard, což je velmi široce používaná symetrická bloková šifra. Symetrická je proto, že používá stejný klíč na šifrování i dešifrování, na rozdíl od třeba RSA, která používá dva, jeden veřejný na zašifrovávání a druhý, tajný, k dešifrovávání. Bloková je šifra AES proto, že velké kusy dat nešifruje celé, ale rozdělí si je na 16-ti bytové bloky, které šifruje jeden po druhém.

#### Princip šifrování

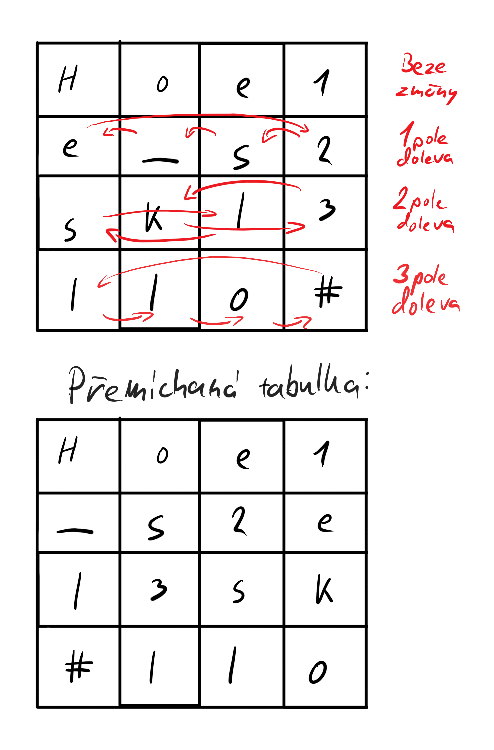
AES je relativně jednoduchá na pochopení. Jak už jsem zmiňoval, rozdělí si zprávu na bloky o 16-ti bytech, to je 128 jedniček a nul, chytrým způsobem změní jejich hodnoty a vyplivne nám stejně velkou, ale bez klíče nečitelnou zprávu.

Jak to ale dělá? AES si nejprve vytvoří několik podklíčů z našeho hlavního klíče. Poté seřadí tuto zprávu do tabulky po sloupcích shora dolů, zleva doprava. S tímto rozvržením bude pracovat po celou dobu šifrování. Poté vezme náš první podklíč a na zprávě s ním udělá operaci XOR, tzn. porovná všechny jedničky a nuly bloku s jedničkami a nulami klíče, a pokud jsou stejné, zapíše nulu, pokud nikoliv, zapíše jedničku. 

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 15 Znázornění rozložení zprávy „Heslo\_Kleslo123#“ do tabulky*

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 16 Příklad provedení operace XOR na 1 bytu zprávy a klíče*

Dále nahradí každý z těchto bytů jiným podle speciálně navržené tabulky. Můžeme si to představit jako kdybychom místo každého písmena *A* psali písmeno *F* a místo každého *F* třeba *R* a tak dále.

Další krok je promíchání v rámci řádků. Každý byte se posune vlevo o takové množství políček, jako je číslo řádku ve kterém je. Protože jsme wv počítačovém světě, nesmíme zapomenout, že začínáme na nule, tzn. první řádek se vůbec nepohne, druhý se pohne o jedno políčko, třetí o dvě a čtvrtý o tři. 

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 17 Znázornění promíchání řádků. Nutno poznamenat, že zpráva by už touhle dobou byla pozměněna předchozími kroky.*

Poslední dva kroky jsou vynásobit každý sloupec speciální maticí a přidá další klíč operací XOR. Nyní ale přichází důvod, proč je tahle šifra tak bezpečná: všechny tyhle kroky se několikrát opakují. Kolikrát záleží na velikosti klíče. Klíč velký 16 bytů, čili 128 bitů, znamená 10 iterací, 24 bytový (192 bitový) iteruje 12x a 32 bytový (256 bitový) iteruje celkem čtrnáctkrát.[[15]](#footnote-15)[[16]](#footnote-16)[[17]](#footnote-17)

#### Zranitelnost vůči bruteforce útokům

AES je velmi silná šifra bez vážných zranitelností, ale každý šifrovací algoritmus má jednu slabost. Je totiž vždycky možné prostě otestovat všechny možné klíče a eventuelně objevit ten správný. Jediné, co tomuto způsobu prolomení brání je čas. Každá šifrovací operace nějakou dobu trvá, a i přes všechny optimalizace nikdy nebude úplně okamžitá.

Dešifrovat 1 blok dat trvá přibližně 32 procesorových cyklů, což by na nejrychlejším procesoru světa, běžícím na frekvenci 8.81 GHz[[18]](#footnote-18) trvalo zhruba 3.6 nanosekund. I kdybyste dedikovali celý svůj život údržbě počítače s tak velkým výkonem a využili všechny známé zranitelnosti této šifry, pořád by vám prolomení této šifry trvalo 10 408 265 182 648 400 760 000 let, čili zhruba deset a půl triliard let[[19]](#footnote-19). A to je jenom v případě, že používáme tu nejslabší variantu AES se 128 bitovým klíčem. Šifrovací kód jsem totiž navrhl tak, aby si uživatel mohl vybrat i silnější verzi, AES256. Stačí jen aby zadal delší šifrovací klíč a bude mu dopřána tak absurdně vysoká úroveň bezpečnosti, že i kdyby existoval počítač, který by dokázal vyzkoušet jeden klíč za jedinou Planckovu jednotku času, nejmenší časový úsek, který je fyzicky možné změřit, trvalo by mu to přibližně 65 299 601 948 325 717 200 000 000 let (o trochu víc než šedesát pět a čtvrt kvadrilionu let)[[20]](#footnote-20). Jen tak pro představu, slunce vyhasne už za nějakých 5 miliard let, což je 5 000 000.[[21]](#footnote-21) Lze tedy s jistotou říct, že v tomto ohledu je míra zabezpečení je naprosto dostačující.

#### Zranitelnost vůči přečtení programového kódu

Součástí procesu nahrávání programu do Arduina je i přečtení jeho programové paměti, čímž se ověří, že se program nahrál správně. Toho by ale teoreticky šlo zneužít tím, že by útočník zařízení připojil ke svému počítači, přečetl programovou paměť Arduina, a z ní zjistil klíč. Tohle je naprosto reálný způsob napadení, bohužel není v mých silách se mu efektivně ubránit.

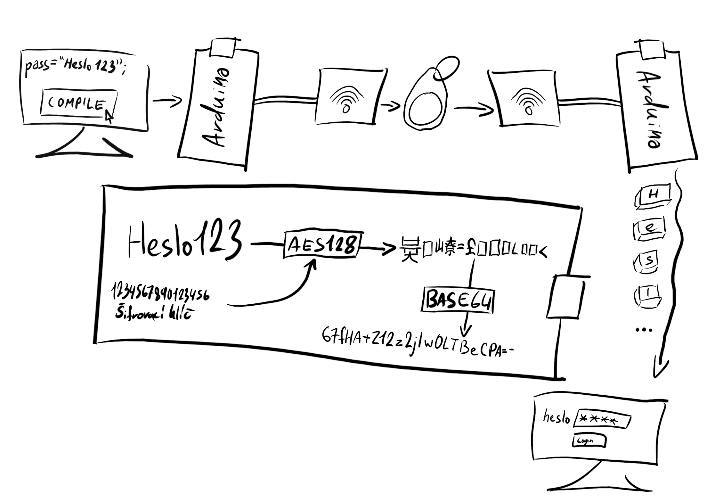
Arduino, které dešifruje klíč je také to, které jej posílá pomocí datových linek USB kabelu do počítače jako klávesnicový vstup, takže použití kabelu, který nepodporuje přenos dat není řešením.

Jediné možné řešení, které mě napadá, je, přeprogramovat firmware samotného jádra Arduina tak, aby odmítlo posílat obsah své paměti zpět do počítače k ověření. To si ale nejsem jist, že je možné, takže by pravděpodobně bylo nutné navrhnout vlastní, modifikované Arduino s vlastním, modifikovaným firmwarem, který ale bude pořád podporovat přepis programového kódu, jen se bude připojeným počítačům jevit jako write-only memory.

#### Zranitelnost vůči připojení do cizího počítače

Protože žádné z mých Arduin nekontroluje, zda je připojené ke správnému počítači, útočník by mohl spáchat man-in-the-middle attack tím, že by mezi počítač a Arduino připojil jím ovládané zařízení, které by si po přijetí hesla od Arduina uchovalo kopii, ale klávesnicové vstupy poslalo dál, aby uživatel nic nepoznal. Tomuto útoku by se dalo zabránit použitím tlustě obrněného USB kabelu a trvalým připevněním koncovek kabelu ke slotům, například vteřinovým lepidlem.

### Jak zapsat zašifrované heslo na čip?

Když se zašifruje nějaký kus textu, výsledek bývá člověkem nečitelný, a to je dobře! Dělá to ale problémy při ukládání na čip. Některé znaky mají totiž speciální účel. Například znak s hodnotou nula označuje konec Stringu, což je kus textu, který může mít libovolnou délku. Když má program vypsat nějaký kus textu, je mu řečeno „tady začni, a přestaň až když narazíš na ␀“.

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 18 Grafické znázornění šifrovacího koloběhu s detailním znázorněním samotného šifrování*

Výsledek šifry ale může obsahovat i právě tento null terminator, takže aby to program omylem neinterpretoval jako předčasný konec uloženého souboru, zakódoval jsem celý výstup ze šifrování do Base64 a teprve zakódovaný výsledek teprve zapisuji na čip.

Base64 je způsob zapisování jakýhkoli dat jako sérii písmen, číslic a znaků +, / a =. Hlavní účel kódování do b64 je zajištění jednoduchého ukládání. Můžeme si to představit, jakože se vstup rozepíše na dlouhý řádek jako jedničky a nuly, a každých 24 bitů, tzn. 24 jedniček nebo nul zapíšeme jako čtyři znaky, podle speciální tabulky tak, aby každé 3 znaky dekódovaného textu byly zapsané jako 4 znaky enkódovaného textu. Tímto sice plýtváme úložiště, ale zajistíme, že data budou přečtena správně, a to i člověkem.[[22]](#footnote-22)

### Implementace

Zní to jednoduše: jedno Arduino zašifruje heslo a zapíše ho na čip, druhé přečte data z čipu, dešifruje je a pošle do počítače. Co by se mohlo pokazit? Ukázalo se, že víceméně všechno.

#### Murphyho zákon

Při hledání šifrovací knihovny jsem se snažil najít takovou, aby nepotřebovala moc operační paměti, aby se mi tam hezky vešla i knihovna na čtení čipu. Ta, kterou jsem si našel, ale byla rozbitá. Nejsem si jist čím přesně, ale cokoliv zašifrovala už nebyla schopná dešifrovat, a nějakým způsobem i poškozovala proces zapsání na čip, což se projevovalo tím, že čipová knihovna vyhazovala chyby.

Já jsem ale nevěděl čím to je, myslel jsem si, že opravdu jde o problém s čipovou čtečkou, nebo knihovnou, která ji ovládala. Snažil jsem se tedy řešit špatný problém na což jsem poté doplatil tím, že jsem si čtečku zničil.

Když přišly náhradní čtečky karet, zjistil jsem, že to nebyla jediná věc, která se mi rozbila. Přestala mi také pájet páječka. Novou páječkou to ale nekončí, když jsem k jedné ze čteček přidělával piny, propájel jsem jí okraj. Objednal jsem si tedy další dvě. Jedna funkční čtečka mi k práci zatím stačila, strávil jsem ale ještě několik dalších dní tápáním po řešení problémů, které se vyskytovaly.

Jednoho krásného večera jsem se naštval, našel úplně jinou šifrovací knihovnu od nějakého Řeka George, a zhruba během hodiny zprovoznil to, co se mi během posledních čtrnácti dní nepovedlo, a k tomu navíc i posílání dešifrovaného hesla do počítače z Arduina Leonarda, které v mezičase dorazilo.

#### Lokaliya4n9 probl0mz

Heslo se sice úspěšně propsalo, ale místo očekávaného UltraSuperSecret69\_! Se mi do notepadu vepsalo UltraSuperSecretží%1. Já jsem totiž Arduinu neřekl, aby zmáčklo jednotlivé klávesy. Já jsem mu jen dal dešifrované heslo a příkaz piš. Arduino ale předpokládalo, že mám klávesnici s americkou lokalizací. K napsání číslic tedy využilo horní řádek alfanumerické části klávesnice, ale nezmáčklo shift, protože americká klávesnice na těchto klávesách nevyžaduje shift k napsání čísla, na českém layoutu se tedy místo *69* napíše *ží*.

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 19 Fotografie části klávesnice pro ilustraci lokalizačního problému*

Naštěstí Češi tak úplně neostrouhali, protože Michal Altair Valášek, na GitHubu znám jako ridercz, vytvořil českou variantu celé Keyboard knihovny[[23]](#footnote-23). Stačí tedy místo importování oficiální knihovny na začátku kódu importovat jeho knihovnu. Dokonce ani není třeba upravovat žádný kód, tato knihovna perfektně nahradí tu oficiální. Z *ží%1* je tedy opět *69\_!*, takže hesla se budou propisovat na českých klávesnicích správně.

Nutno poznamenat, že jsem touto úpravou znemožnil efektivní využití na amerických klávesnicích. Potencionální uživatel by si musel kód upravit tak, aby fungoval na jeho rozvržení klávesnice. Protože ale budou posílány identické vstupy při každém přičipnutí, bylo by technicky možné tuto funkci použít i na jiném layoutu, jen by bylo zadávané heslo jiné než to, které je uložené do Arduina.

Tím jsem víceméně zakončil práci na funkcích. Zbývá už jen vytvořit hezkou krabičku, do které to všechno dám.

## Châssis de acide polylactique

Můj prototyp byl plně funkční. Uměl všechno, co umět měl, ale pořád mu něco chybělo. Něco, co by ze změti drátků udělalo produkt hodný uvedení na trh.

Způsob tvorby šasí jsem měl vybraný hned od začátku, plánoval jsem použít 3D tiskárnu, kterou měla škola mít půjčenou od Prusa Research. Bohužel se mi nepodařilo zjistit, jak k ní získat přístup.

Už jsem se chtěl uchýlit k méně elegantnímu řešení. Naštěstí mě můj vedoucí práce, pan Lampíř, zachránil tak, jako boží anděl zachránil Izáka před obětováním[[24]](#footnote-24)[[25]](#footnote-25), a nabídl mi, že mohu využít jeho 3D tiskárnu.

### Jak Vítek na krabičce dělal

S 3D tiskem jsem dosud neměl žádné zkušenosti. Předpokládal jsem, že to bude velmi podobné tvorbě 3D modelu, protože o to v podstatě jde. Největší rozdíl pro mě byl v softwaru, ve kterém jsem pracoval. Na concept artu šasí jsem pracoval v lokálně nainstalovaném Blenderu, ale 3D model k tisku jsem vytvářel pomocí onlinového prostředí Tinkercad.

*SEQ Obrázek \\* ARABIC 20 Snímek obrazovky hotového modelu v uživatelském prostředí*

Tinkercad je velmi jednoduchý software designovaný jako intuitivní nástroj pro začínající kutily. Nabízí malé pracovní prostředí, do kterého lze vkládat jednoduché tvary a obrazce, anebo části cizích projektů. Všechny tvary se mohou chovat buď jako kus, který se vytiskne, anebo jako díra do jiného tvaru.

#### Design

S modelováním jsem začal jednoduše: vymodeloval jsem si komponenty, které se mi do krabičky musí vejít. Metrem jsem si postupně změřil součástky, a vložil je do projektu jako barevný kvádr. S přibývajícími komponenty jsem získával čím dál větší ponětí, jak chci, aby krabička vypadala.

Aby se mi projekt lépe prezentoval, navrhl jsem dvě odnímatelné strany, které budou za běžného provozu připevněné k celku šroubky, které mi doma zbyly z předchozích vyrábění. To mi také zajistí jednodušší instalaci Arduin dovnitř krabičky.

Na horní stranu krabičky jsem zespoda přidal rádoby hmoždinky, abych mohl Arduino Leonardo namontovat vzhůru nohama a ušetřit tak místo. Ve stropě jsem také zakomponoval zdířky na LED kontrolky, reproduktor, displej, přepínací páčky, spínač na klíček a i jedno relativně velké červené tlačítko s průhlednou krytkou proti nechtěnému zmáčknutí. Z boku jsem také přidal držáček na čipovou kartu.

Protože mám vlastní zkušenosti s příliš úzkými prostory okolo micro USB portů, zajistil jsem, aby žádný potencionální uživatel mého výrobku neměl problémy se zapojením kabelů s tlustšími koncovkami. Konec konců doma jiné než s tlustými koncovkami nemám, takže bych nemohl otestovat vlastní výrobek.

Hotový model jsem poslal k vytištění panu Lampířovi…

## Struktura práce

1. Titulní strana (strana 1 - započítává se do číslování stran, ale číslo strany se neuvádí)
2. Abstrakt, Abstract, Klíčová slova (nečísluje se, ale započítává se do číslování stran)
3. Prohlášení (strana 3 - započítává se do číslování stran, ale číslo strany se neuvádí)
4. Obsah
5. Úvod
6. Vlastní text
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů
9. Seznam příloh
10. Přílohy

## Titulní strana

Píše se na samostatný list (viz vzor). Čísluje se, ale číslování se neuvádí .

## Abstrakt, Abstract, Klíčová slova

Píše se na samostatný list (viz vzor). Čísluje se, ale číslování se neuvádí.

Abstraktem se rozumí stručný obsah práce prezentovaný v několika větách. Bývá zpracován v jazyce práce a v anglickém jazyce. Pod abstraktem jsou uvedena klíčová slova, která jednoznačně charakterizují náplň práce. Klíčových slov by mělo být 4 - 6.

## Prohlášení

Text prohlášení se píše na samostatný list, umisťuje se v dolní části stránky (viz vzor).

## Obsah

Maturitní práce má svou strukturu (viz výše). Vlastní text je pak členěn do kapitol, podkapitol. V obsahu jsou uváděny názvy jednotlivých částí maturitní práce, názvy kapitol a podkapitol a číslo stránky, na které se nacházejí. Čísluje se, ale číslování se neuvádí.

## Úvod

V úvodu se přesně vymezí problém, kterým se práce zabývá, vysvětlí se, k čemu má práce sloužit, proč je napsána. Dále má být uvedena stručná charakteristika zkoumaného problému, má být formulován cíl a metody práce. Úvod by měl obsahovat i informaci o struktuře práce.

Délka úvodu bývá zhruba 200 slov.

## Vlastní text práce

Podrobně charakterizuje řešenou problematiku.

Obvykle se skládá z teoretické a praktické části. Teoretická část by měla tvořit pouze stručný vhled do problematiky a neměla by přesáhnout jednu polovinu vlastního textu práce.

V praktické části student uvede podrobný postup a výsledky vlastní práce. Popíše jednotlivé kroky řešení a výsledky, kterých dosáhl.

Délka práce je minimálně 25 stran (započítává se obsah, úvod, vlastní text práce a závěr).

Obsah se neoznačuje číslem, ale počítá se.

Na každé straně má být asi 33 řádků textu a cca 66 znaků na řádek.

Tabulky, grafy a obrázky menší než půl stránky, mohou být zařazeny do textu. Pokud jsou větší, budou zařazeny do příloh. Je-li tabulek, grafů, obrázků v textu více číslujeme je průběžně např. Obr. 1, Tabulka 4, Graf 2.

## Závěr

V závěru může autor rekapitulovat výsledky praktické části maturitní práce, vyhodnotit naplnění cílů a poukázat na jejich využitelnost v praxi, případně navrhnout možnost dalšího pokračování práce. Může též stručně rekapitulovat, co se během práce naučil, s čím se potýkal a jaký přínos pro něj psaní práce mělo. Závěr má mít spíše zevšeobecňující charakter.

## Seznam použitých zdrojů

Seznam použité literatury a zdrojů informací je zařazen na konci práce. Je rozdělen na dvě části. Na seznam použitých literárních publikací (knihy,časopisy a podobně) a na jiné zdroje informací (internet, CD média a podobně). Uvádíme údaje zpravidla v tomto sledu:

* Příjmení a jméno autora, autorů
* Název publikace
* Pořadí vydání
* Místo vydání
* Nakladatel
* Rok vydání
* ISBN

Např.

NOVÁKOVÁ Jana. Formální úprava diplomové práce. 1. vyd., dotisk. Ostrava : Ostravská Univerzita,1998. ISBN 80-7042-141-X.

Příklad uvedení online zdroje (stránka webového portálu):

WESTCOM. O nás. Webnode.cz [online]. ©2008-2011 [cit. 2011-04-26]. Dostupné z: <http://www.webnode.cz/o-nas/>

Formát citací a uvedení použitých zdrojů vychází z ČSN ISO 690.

## Seznam příloh a přílohy

Přílohy vkládáme na konec práce a v textu na ně odkazujeme (např. na přílohu 1). Přílohy číslujeme za sebou. Do příloh zařazujeme takový materiál, který je důležitý pro pochopení celé práce, jehož uvedení v textu by však čtenáře rušilo. Jedná se o pomocné tabulky, grafy, obrázky, texty použitých dotazníků, fotografický materiál, fotokopie archiválií apod. Přílohy musí být okomentovány.

## Základní formátování

* Tisk: jednostranný
* Formát stránky: A4
* Orientace stránky: na výšku
* Řádkování: 1,5
* Typ písma: Arial, Times New Roman
* Velikost základního písma: 12
* Mezera mezi odstavci: 6b
* Zarovnání: do bloku
* Hlavní kapitoly začínají na nové stránce.
* Nadpisy mohou být číslovány podle zásad desetinného třídění. Desetinné třídění se vkládá automaticky, jako formátovací prvek stylu nadpisu. Za tečkami v desetinném třídění se nepíše tečka, za poslední číslicí není tečka, mezi poslední číslicí a vlastním nadpisem jsou dvě mezery.
* Poznámky pod čarou se číslují v textu průběžně výše položenými arabskými číslicemi.
* Tabulky a obrázky se číslují průběžně v celém dokumentu.
* Stránky se průběžně číslují v zápatí stránky, a to ve středu stránky. Titulní stránka, abstrakt a stránka s čestným prohlášením se číslují, ale číslování se neuvádí (číslování stránky se tedy uvádí od úvodu po seznam příloh).
* Okraje: levý okraj: 3 cm, pravý okraj: 2,5 cm, horní okraj: 2,5 cm, dolní okraj 2,5 cm
* Text se formátuje pomocí stylů.
* Nepoužívají se více než tři různé velikostí písma. Zdůrazňování částí textu se provádí změnou sklonu písma. Podtrhávání, prokládání nebo tučné písmo používáme jen ve zvlášť odůvodněných případech.
* Tabulky, grafy a obrázky menší než půl stránky mohou být zařazeny do textu. Pokud jsou větší, budou zařazeny do příloh. Je-li tabulek, grafů, obrázků v textu více, číslují se průběžně, např. Obr. 1, Tabulka 4, Graf 2.

## PowerPointová prezentace (či google prezentace)

Prezentace musí obsahovat minimálně 10 + 2 počítačové stránky (slide).

10 slides – odborný text, grafy, tabulky a fotografie

2 slides – iniciály (jméno, školní rok, škola, obor) a úvod nebo závěr práce.

Student přinese k maturitní zkoušce na obhajobu danou prezentaci na nosiči flash a zároveň ji odevzdá vedoucímu práce v elektronické podobě 14 dní před termínem obhajoby maturitní práce.

Prezentace neobsahuje teoretickou tématiku obsaženou v maturitní práci, ale je zaměřena představení praktické části maturitní práce. Text se píše stručně, případně formou odrážek.

## Obhajoba maturitní práce a názorné ukázky praktické části maturitní práce

V případě, že student k obhajobě maturitní práce potřebuje názorné ukázky (HW, SW, elektronická zařízení), je povinen si zajistit veškeré potřebné pomůcky a ověřit jejich funkčnost v prostorách školy před samotnou obhajobou maturitní práce, a to v součinnosti s vedoucím práce či pověřeným pracovníkem školy nejpozději 14 dní před termínem obhajoby maturitní práce.

## Způsob odevzdání maturitní práce

Práce je odevzdávána ve dvou výtiscích v kroužkové vazbě. Originál je uložen v archivu školy. Druhý výtisk je uložen u vedoucího práce.

Termín odevzdání - do 24. 3. 2023 vedoucímu maturitní práce nebo na sekretariát školy.

Elektronická verze maturitní práce ve formátu pdf je zaslána na e-mail vedoucího práce či uložena do prostoru úložiště školy k tomuto účelu určenému. Zdrojové kódy či jiné důležité součásti praktické části maturitní práce jsou odevzdány v elektronické podobě do prostoru úložiště do 24. 3. 2023

Tištěná a elektronická verze maturitní práce se musí shodovat.

Prezentace je odevzdána v elektronické formě na e-mail vedoucího práce či do určeného prostoru úložiště nejpozději 14 dní před termínem konání obhajoby maturitní práce.

Vypracoval: Ing. Bc. Jaroslav Solfronk a Ing. Pavla Cidlinská

Schválil: Mgr. Jakub Pour, MBA

ředitel školy

1. Globální trademark, označující Arduina prodávaná společností Arduino LLC, která Arduina vyvíjí. [↑](#footnote-ref-1)
2. Arduino LLC. How to spot a counterfeit Arduino – Arduino Help Center. *Arduino*. [internet]. [3.2.2023]. Veřejně dostupné na <https://support.arduino.cc/hc/en-us/articles/360020652100-How-to-spot-a-counterfeit-Arduino> [↑](#footnote-ref-2)
3. Input/Output – Vstup/Výstup. Jak budou tyto piny použity záleží na naprogramování. [↑](#footnote-ref-3)
4. Program, který se stará o správný start systému a načtení nahraného programu. [↑](#footnote-ref-4)
5. Wikimedia Foundation, Inc. Serial port – Wikipedia. *Wikipedia: The Free Encyclopedia.* [online]. 26 October 2005, 1 December 2022 [31.1.2023] Veřejně dostupné z <https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_port> [↑](#footnote-ref-5)
6. Keelog. *Hardware Keylogger: AirDrive & KeyGrabber Keylogger - C64 PSU Power Supply.* USB keylogger hardware solutions - KeyGrabber - USB Keylogger, Wireless Keylogger, DIY Keylogger, Wi-Fi Keylogger, C64 PSU, C64 Power Supply, Commodore 64 [internet]. [Wroclaw], [2004-02-05], 2023/01/31 [31.1.2023]. Veřejně přístupné na keelog.com. [↑](#footnote-ref-6)
7. FALSTAD, Paul. PNP Transistor (Bipolar). *Falstad* [online]. [San Diego], [cit. 2022-10-21]. Veřejně dostupné z: https://www.falstad.com/circuit/e-pnp.html [↑](#footnote-ref-7)
8. Why Do Calculators have a Headphone Jack?. *YouTube* [online]. [United States], 30.6.2019 [2022-10-22]. Veřejně dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=W_mZ7smIz3U> [↑](#footnote-ref-8)
9. Joris van Rantwijk. Arduino clock frequency accuracy. *Joris\_VR.* [online]. [Paris]: [Gandi], 2012-06-15, 2012-12-19 [1.11.2022]. Veřejně dostupné z: <http://jorisvr.nl/article/arduino-frequency> [↑](#footnote-ref-9)
10. Při vlastním testování jsem zjistil, že některá moje Arduina jsou schopna se odchýlit i o 2 minuty každých 8 hodin. Přisuzoval bych to neoficiálnímu původu mého hardwaru. [↑](#footnote-ref-10)
11. Wikimedia Foundation, Inc. Pštrosí algoritmus – Wikipedie. *Wikipedie: otevřená encyklopedie.* [online]. 15.9.2006, 9.8.2021 [8.11.2022] Veřejně dostupné z <https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%A1tros%C3%AD_algoritmus> [↑](#footnote-ref-11)
12. Wikimedia Foundation, Inc. Ostrich algorithm – Wikipedia. *Wikipedia: The Free Encyclopedia.* [online]. 8 March 2005, 1 October 2022 [8.11.2022] Veřejně dostupné z <https://en.wikipedia.org/wiki/Ostrich_algorithm> [↑](#footnote-ref-12)
13. Wikimedia Foundation, Inc. Deadlock – Wikipedie. *Wikipedie: otevřená encyklopedie.* [online]. 10.2.2006, 4.11.2022 [8.11.2022] Veřejně dostupné z <https://cs.wikipedia.org/wiki/Deadlock> [↑](#footnote-ref-13)
14. Wikimedia Foundation, Inc. Deadlock – Wikipedia. *Wikipedia: The Free Encyclopedia.* [online]. 8 August 2005, 25 October 2022 [8.11.2022] Veřejně dostupné z <https://en.wikipedia.org/wiki/Deadlock> [↑](#footnote-ref-14)
15. AES Explained (Advanced Encryption Standard) – Computerphile. *YouTube* [online]. Nov 22, 2019 [29.11.2022]. Veřejně dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=O4xNJsjtN6E> [↑](#footnote-ref-15)
16. Wikimedia Foundation, Inc. Advanced Encryption Standard - Wikipedia. *Wikipedia: The Free Encyclopedia.* [online]. 27 May 2004, 22 October 2022 [29.11.2022] Veřejně dostupné z <https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Encryption_Standard> [↑](#footnote-ref-16)
17. Wikimedia Foundation, Inc. Deadlock – Wikipedie. *Wikipedie: otevřená encyklopedie.* [online]. 27.12.2011, 16.11.2022 [29.11.2022] Veřejně dostupné z <https://cs.wikipedia.org/wiki/Advanced_Encryption_Standard> [↑](#footnote-ref-17)
18. [Hartung, Roman Konstantin]. elmor`s CPU Frequency score: 8812.85 MHz with a Core i9 13900K (8P). *HWBOT: Overclocking, overclocking, and much more! Like overclocking.* [online]. [Německo]: HWBOT GmbH., 20 Oct 2022, [29.11.2022]. Veřejně dostupné z <https://hwbot.org/submission/5102721_elmor_cpu_frequency_core_i9_13900k_(8p)_8812.85_mhz> [↑](#footnote-ref-18)
19. Podle výše citované stránky <https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Encryption_Standard> existuje způsob jak získat klíč k šifře AES128 za pouhých 2126.1 pokusů. To je 9.1176403e+37, neboli 91 176 403 a 30 nul. Když tohle číslo vynásobíme 3.6, dostaneme maximální dobu potřebnou na jisté prolomení šifry. Toto číslo můžeme dále převést na roky, pokud jej vydělíme číslem 3.154e+16. [↑](#footnote-ref-19)
20. <https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Encryption_Standard> zmiňuje i počet pokusů k prolomení šifry AES256: 2254.4, čili 3.8197144e+76, neboli 38 197 144 a 69 nul. Jeden kalendářní rok je 5.85e+50 Planckův jednotek času. Pokud tyto dvě čísla vydělíme, vyjde nám počet let, které bychom museli strávit dešifrováním, abychom AES256 prolomili. [↑](#footnote-ref-20)
21. Wikimedia Foundation, Inc. Sun - Wikipedia. *Wikipedia: The Free Encyclopedia.* [online]. 5 December 2002, 22 November 2022 [29.11.2022] Veřejně dostupné z <https://en.wikipedia.org/wiki/Sun> [↑](#footnote-ref-21)
22. Wikimedia Foundation, Inc. Base64 - Wikipedia. *Wikipedia: The Free Encyclopedia.* [online]. 24 April 2003, 21 November 2022 [21.11.2022] Veřejně dostupné z <https://en.wikipedia.org/wiki/Base64> [↑](#footnote-ref-22)
23. TODO: citovat <https://github.com/ridercz/CzechKeyboard> [↑](#footnote-ref-23)
24. Genesis 22:11, 22:12 [↑](#footnote-ref-24)
25. BIBLÍ SVATÁ ANEB VŠECKA SVATÁ PÍSMA STARÉHO I NOVÉHO ZÁKONA. PRAHA: BIBLICKÁ SPOL. PRAHA II, LÍPOVÁ 15, 1941. PODLE POSLEDNÍHO VYDÁNÍ KRALICKÉHO Z ROKU 1613. [↑](#footnote-ref-25)