



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

**NÁVRH A REALIZACE PROTOTYPU PŘÍPRAVKU
PRO TESTOVÁNÍ ARDUINO ŘÍDICÍCH
JEDNOTEK**

DESIGN AND REALIZATION OF THE PROTOTYPE OF TESTING BED FOR ARDUINO CONTROL
UNIT TESTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Zbyněk Piech

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Šoustek

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Zbyněk Piech**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Petr Šoustek**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh a realizace prototypu přípravku pro testování Arduino řídicích jednotek

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem práce je navrhnout a zrealizovat prototyp přípravku pro testování řídicích jednotek na platformě Arduino. Řídicí jednotka se skládá z osazené desky plošného spoje a dalších komponent, které se k ní připojují. Po jejím vyrobení je nutno provést kontrolu její správné funkce.

Cíle bakalářské práce:

Navrhněte vhodnou konstrukci prototypu testovacího přípravku s ohledem na jeho výrobu pomocí 3D tisku.

Vytvořte příslušný firmware/software pro vyhodnocovací jednotku testovacího přípravku.

Navrhněte systém a postup kontroly řídicích jednotek.

Navržený systém zrealizujte a otestujte.

Seznam doporučené literatury:

JOWETT, Charles Eric. Compatibility and testing of electronic components. Elsevier, 2016.

KHANDPUR, Raghbir Singh. Printed circuit boards: design, fabrication, assembly and testing. Tata McGraw-Hill Education, 2005.

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací prototypu přípravku, který bude sloužit pro testování Arduino řídicích jednotek. V teoretické části jsou analyzovány základy programování jednotek Arduino a jejich využití, způsoby testování a popis samotných jednotek Arduino. V praktické části je popsán postup výroby přípravku, a to jak po stránce konstrukční, tak elektrotechnické. Zároveň je popsán testovací software a testovací přípravek je odzkoušen.

ABSTRACT

This bachelor thesis is focusing on the design and realisation of the prototype of testing bed, which will be used for testing the Arduino control units. There is analysed the basics of Arduino programming, their real life applications, types of testing and description of the Arduino control units in theoretical part. In practical part there is a description of construction of the testing bed, both mechanically and electrically. There is also a description of testing code and final test of the bed itself.

KLÍČOVÁ SLOVA

Arduino řídicí jednotka, testování řídicích jednotek, Arduino programování, aplikace 3D tisku, testování Arduino komponent

KEYWORDS

Arduino control unit, control unit testing, Arduino programming, 3D printing application, Arduino components testing

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PIECH, Zbyněk. *Návrh a realizace prototypu přípravku pro testování Arduino řídicích jednotek* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125422>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Petr Šoustek.

PODĚKOVÁNÍ

Obzvláště hodně bych chtěl poděkovat Ing. Antonínu Michlovi za vyčerpávající odbornou a skvělou materiálovou podporu při výrobě testovacího přípravku. Chtěl bych poděkovat Ing. Petrovi Šoustkovi za vedení a odborné rady při psaní bakalářské práce. Chtěl bych také poděkovat rodině a kamarádům za psychickou podporu.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petra Šoustka a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 25. 6. 2020

.....

Zbyněk Piech

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	TEORETICKÝ PŘEHLED	17
2.1	Plošné spoje	17
2.1.1	Vývoj plošných spojů	17
2.1.2	Popis desek plošných spojů	18
2.2	Testování plošných spojů	19
2.2.1	Ověření kvality	19
2.2.2	Testování desek	20
2.3	Komunikace.....	22
2.3.1	Komunikace Arduino jednotky	22
2.4	Arduino	24
2.4.1	Historie Arduina	24
2.4.2	Verze Arduina.....	25
2.4.3	Arduino shield moduly	27
2.5	Aplikace ve strojírenství	29
2.6	Programování Arduino jednotky	30
2.7	3D tisk.....	33
2.7.1	Typy 3D tiskáren	33
2.7.2	Druhy materiálů	36
3	KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU	39
3.1	Mechanická konstrukce	39
3.1.1	První iterace	39
3.1.2	Druhá iterace.....	40
3.1.3	Třetí iterace.....	42
3.2	Spojování jednotlivých částí.....	44
3.3	Elektrické zapojení	44
3.3.1	Schéma zapojení	47
3.3.2	Popis zapojení.....	48
3.4	Programování jednotek	49
3.4.1	Program testovací jednotky	49
3.4.2	Program testované jednotky	50
3.5	Výsledné testování.....	51
3.5.1	Ověření přípravku.....	51
3.5.2	Systém kontroly řídicích jednotek	52
3.6	Využití přípravku.....	52
4	ZÁVĚR	55
5	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	57
6	SEZNAM OBRÁZKŮ	59
7	SEZNAM PŘÍLOH.....	61

1 ÚVOD

Při výrobě elektronických komponent je nutné dbát na kontrolu jejich funkčnosti. Desky plošných spojů a podobné komponenty je možné testovat pomocí přípravků. Přípravek je jednoúčelový přístroj, který slouží k uchycení dané komponenty. Přípravky se v průmyslu používají pro snadnější manipulaci a ušetření času pracovníků při práci s výrobky.

Úkolem této práce je podobný přípravek navrhnout a zrealizovat, konkrétně prototyp přípravku pro testování řídicích jednotek, které jsou postaveny na platformě Arduino. Přípravek bude testovat Arduino řídicí jednotku osazenou na desce plošných spojů, převodník signálu a měřicí jednotku. Protože se jedná o prototyp, bude daný přípravek vyroben pomocí 3D tisku. Přípravek musí být zkonstruován jak po mechanické stránce, tak po stránce elektrotechnické.

Po zrealizování konstrukční části a po správném zapojení elektrotechnické části musí být naprogramován firmware pro zprovoznění přípravku. Firmware bude tvořen částí pro testovací jednotku a částí pro jednotku testovanou, přičemž bude obsahovat pět testovacích módů, které postupně otestují shield, převodník, měřicí člen a jejich kombinace. Mechanismus testování jednotek se poté skládá ze zapnutí přípravku, přiložení testované jednotky a zapojení jejich komponent, vybrání požadovaného módu testování a následného vyhodnocení testu pomocí akustické a vizuální signalizace.

Smyslem přípravku je vytvoření přístroje, který umí rychle otestovat velké množství komponent a je možné, aby jej používal i nekvalifikovaný zaměstnanec. Takový přípravek šetří čas a finanční náklady při výstupní kontrole hotových výrobků, nebo je možné jej použít při kontrole dodaných komponent, které se dále zpracovávají.

Pro správnou práci při konstrukci je třeba získat některé teoretické znalosti. Z toho důvodu bude v práci popsáno, jak fungují plošné spoje a jak je lze testovat, zejména pak pomocí pružinových hrotů. Také je nutné pochopit, jak funguje komunikace desek, zejména pomocí UART propojení.

V práci bude popsán vznik a některé verze řídicí jednotky Arduino a také budou popsány Arduino shield moduly. Pro práci je poté využito Arduino Nano s vlastním speciálním shield modulem, které se má dle zadání testovat. Rovněž je nutné popsat způsob, jakým se Arduino jednotky programují. Na závěr teoretické části je potřeba popsat druhy 3D tisku a druhy materiálů, ze kterých se na 3D tiskárnách tiskne, a vybrat konkrétní druh 3D tisku a materiál, který bude pro přípravek použit.

V praktické části popsán proces tvorby přípravku, a to jak po mechanické, tak elektrotechnické a programovací části.

Na závěr bude přípravek otestován.

2 TEORETICKÝ PŘEHLED

Pro pochopení správné konstrukce, zapojení a naprogramování prototypu přípravku bude nutné popsat a pochopit jednotlivé jeho části a vztahy mezi nimi. Proto bude tato práce zaměřena na popis plošných spojů a jejich vývoj, způsoby testování a spolehlivost a následně budou popsány komunikační protokoly a sběrnice. Bude charakterizované Arduino, jak vzniklo a jaké jsou jeho verze, včetně toho, jaké má využití v praxi. Závěrečná část bude věnována vývojovému prostředí Arduino IDE, 3D tisku a jeho možnostem při konstruování prototypů.

2.1 Plošné spoje

Plošné spoje jsou nejčastěji používanou technologií pro spojení různých komponent v elektronickém výrobku. Postupem času se vyvíjí, především se zmenšují rozměry, zvyšuje se počet vodivých spojení a možností připojení komponent. Plošné spoje se vyvinuly proto, aby se urychlil proces pájení, zmenšily rozměry a zajistila modulárnost elektronických produktů. Plošné spoje zajišťují fyzickou strukturu na spojení komponent a zároveň i elektrické spojení. Jsou velmi jednoduché na údržbu, jednoduše se kontrolují, protože vodivá spojení jsou jasně viditelná a snadno se vyrábí ve velkých počtech.

2.1.1 Vývoj plošných spojů

První pokusy o výrobu plošných spojů se datují již do začátků 20. století, jeden z hlavních přínosů ve vývoji moderních plošných spojů se připisuje Dr. Paulovi Eislerovi, který navrhl použití jako základní materiál izolant ve formě desky, který by byl opláštěný mědí [1]. Jednotlivá spojení by pak byla na desku nakreslena a zbytek mědi by byl vyleptán v roztoku. Tato metoda později dala vzniknout prvním průmyslovým metodám výroby plošných spojů. Eisler také navrhnul použití vodičů z obou stran desek a jejich propojení pomocí oček.

Během druhé světové války začala americká armáda používat desky, které byly tvořeny keramickým základem, vodiči ze stříbrné pasty a grafitovými rezistory. Po druhé světové válce došlo k masivnímu rozšíření spotřební elektroniky, například televize či rádia. V této době se dosáhlo limitu hustoty desek používaných jen z jedné strany a od té doby se používají desky oboustranné, ve kterých mohou kabely procházet z jedné strany na druhou, k tomu se především využívají pokovené otvory. V 50. letech takto společnost Motorola začala používat měděná spojení mezi stranami desek, v 60. letech se také objevují první pokusy o automatizaci výroby desek plošných spojů a v 70. letech se již používají techniky foto laminace, CNC vyvrtávání, maskování pájky apod. [1] Díky tomu se podstatně zmenšily rozměry desek, zvýšila se jejich spolehlivost a odolnost a snížila cena. Plošné spoje se ještě více objevují ve spotřební elektronice, vědeckém i lékařském vybavení, letectví i kosmickém průmyslu.

V současnosti se desky plošných spojů vyvíjí hlavně směrem vysokofrekvenčních systémů, vyšších operačních napětí a dalších možností propojení. Proces výroby odebráním vodičů (např. leptáním) je na ústupu, daleko častější je dnes aditivní proces výroby, společnosti se zároveň snaží o zmenšení negativních důsledků na životní prostředí použitím méně toxických materiálů.

2.1.2 Popis desek plošných spojů

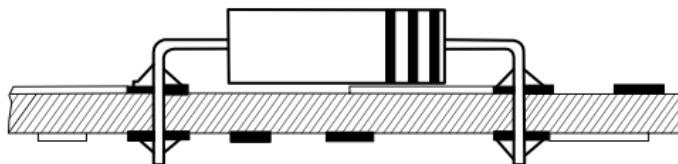
Základními komponentami desek plošných spojů jsou základna a vodiče. Základna je tenká deska izolačního materiálu, který může být pevný, či flexibilní. Základna tvoří mechanickou podporu pro vrstvy mědi a všechny komponenty připojené na ni. Elektrické vlastnosti základny závisí na použitém izolantu, většinou se používá papír nasycený fenolovou pryskyřicí, či tkanina ze skelných vláken sycená epoxidovou pryskyřicí [1]. Vodiče jsou většinou z velmi čisté mědi ve formě tenkých pruhů odpovídajících tvarů. Vodič nezajišťuje pouze elektrické spojení komponenty, ale také pomocí pájky drží komponenty na desce.

Jednostranné desky

Jednostranné desky mají vodiče pouze z jedné strany izolační desky, strana, na které je vodivý obrazec, se nazývá pájecí strana a strana, na které vodivý obrazec není, se nazývá komponentová strana. Tyto desky se používají pro jednoduché obvody a tam, kde je třeba levná výroba. Vyrábí se především vytisknutím vodivého obrazce a následným vyleptáním. Takto si je mohou vyrobit i amatéři pro vlastní hobby použití.

Oboustranné desky

Oboustranné desky (obr. 1) mají vodivý obrazec z obou stran izolační desky. Ty se dají dále dělit podle toho, zda mají pokovené spojení dírou mezi stranami, nebo ne. Ty, které díru pokovenou nemají, jsou jednodušší a levnější. Ty, které mají pokovené spojení dírou, se používají u složitějších návrhů. Jejich výhodou je však to, že se následně spojení mezi stranami nemusí realizovat dalším kusem vodiče.



Obr. 1: Oboustranná deska bez pokoveného spojení dírou, překresleno podle [1]

Vícevrstvé desky

Vývoj komponent vedl k tomu, že oboustranné desky plošných spojů přestaly dostávat, a to jak počtem přechodů, tak zvýšeným rušením apod. To vedlo k vývoji komplexnějších desek, které rozšiřují počet možných spojení. Vícevrstvé desky mohou mít tři vodivé

vrstvy, ovšem vyskytují se aplikace, kde jsou i padesátivrstvé desky. Díky tomu mohou být komponenty umístěny mnohem blíže k sobě, bez terminálů které by zajišťovaly daná spojení. Vícevrstvé desky mají pokovované díry. Použití našly například v leteckém průmyslu, armádě nebo vysokofrekvenčních systémech. Jejich další výhodou je, že můžeme všechna vodivá spojení umístit uvnitř desek a na povrchu můžeme umístit pasivní chlazení.

2.2 Testování plošných spojů

2.2.1 Ověření kvality

Při jakékoliv výrobě je důležité zajištění ověření kvality. V dnešní době mají všichni velcí výrobci, včetně výrobců desek plošných spojů, vlastní oddělení kvality, která plánují testování výrobků a návrhy na zlepšení kvality. Kvalita se definuje jako schopnost plnit účel. Účel je v případě desek plošných spojů často testován ve spojení s dalšími komponenty. Jakýkoliv aspekt nebo parametr desky, který neodpovídá specifikovaným požadavkům, se hodnotí jako chyba nebo porucha [1]. Rozlišujeme několik typů poruch, a to podle jejich závažnosti.

- Kritická porucha – je taková porucha, která může způsobit velmi nebezpečné podmínky pro člověka, případně jeho ohrožení na životě. Kritická porucha v případě této bakalářské práce nemůže nastat.
- Závažná porucha – je taková porucha, která může způsobit poškození samotné desky nebo komponent, z čehož vyplývají případné finanční následky na opravu či výměnu. Závažná porucha může v případě testování v rámci této práce nastat.
- Drobná porucha – je taková porucha, která sice způsobí nefunkčnost, ale nezpůsobí poškození další části. Takové poruchy v případě testování v rámci této práce také mohou nastat.

Spolehlivost jednotek poté určuje jejich kvalitu. V případě desek je možné spolehlivost určit jako podíl desek bez defektů k podílu celkově testovaných desek. Deska s defektem může obsahovat jednu či více poruch a naopak deska bez defektu žádné poruchy nemá.

$$\text{Spolehlivost v procentech} = \frac{\text{Počet desek bez defektů}}{\text{Počet celkově testovaných desek}} \quad (1)$$

Některé společnosti si stanovují minimální procento funkčních jednotek, které při nákupu musí být funkční a které je pro jejich spotřebitelské účely akceptovatelné.

2.2.2 Testování desek

Testování desek provádí výrobci při výstupní kontrole výroby. Je také možné testovat desky přijaté od výrobce, především před jejich dalším použitím ve výrobním procesu. Při testování desek plošných spojů je třeba se zaměřit především na následující druhy poruch:

- Nepropojený obvod – a to jak nefunkční obvod na základní desce, tak při vzájemném propojení komponent. Při pájení může také vzniknout studený spoj¹.
- Zkrat – ten může také nastat přímo na desce, či při propojení komponent.
- Vadná připojená komponenta, která poté nekomunikuje s deskou.
- Vadná komponenta přímo na desce, která může být např. otočená, poškozená, zaměněná za jinou atp.

Při propojení desky s komponentami může také dojít k propojení špatných pinů, to může také způsobit zkrat nebo nefunkčnost obvodu. Snahou bude testování funkčnosti desky samotné, jejich portů a také připojených komponent.

Inspekce desek se dělí na:

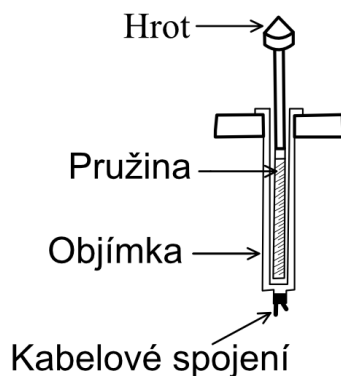
- Fyzickou inspekci – při které se kontrolují rozměry a to, jak deska fyzicky odpovídá vzoru. Tuto inspekci provádím zasazením desky do přípravku, konkrétně do vodících hrotů.
- Optickou inspekci – při které se deska plošných spojů kontroluje pod mikroskopem, především na správné připájení jejich prvků.
- Elektrickou inspekci – při které se právě kontroluje správné propojení obvodů, správné doléhání pinů atp. Preferován je především tento typ inspekce.

Testování pomocí přípravku z testovacích hrotů

Pro testování desek se v dnešní době používají automatizované způsoby testování, a to i pro testování malých sérií. Tím nejčastějším je testování pomocí přípravku, který je složen z testovacích hrotů (obr. 2). Přípravek je složen ze základny, ve které jsou usazeny testovací pružinové hroty. Pružinové hroty jsou vyvedeny ke každému místu, které je potřeba vodivě spojit. Skládají se z následujících částí:

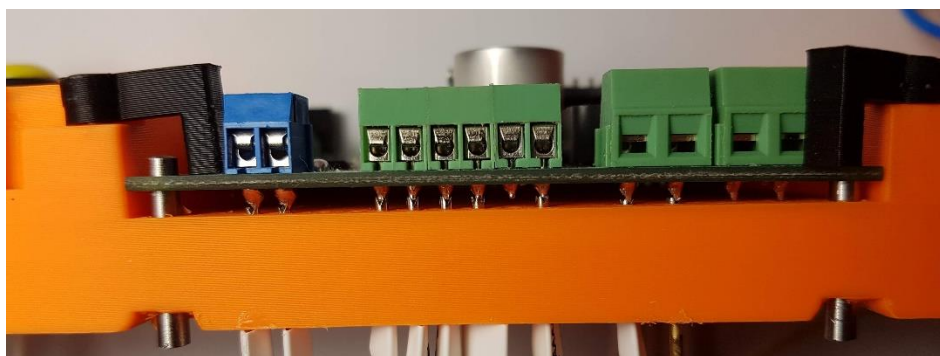
- Svršku, který je usazen v základně.
- Pružiny, která tlačí přibližně 1 až 2 N na testovanou desku.
- Hrotu, který dopadá na místo na desce, které se má testovat, zpravidla na část vodivého obrazce v místě komponenty.
- Vývodu kabelu, který vede do testovací jednotky.

¹ Při použití nedostatečného množství tavidla, nebo při špatné (nízké) teplotě pájecího hrotu může dojít k tomu, že pájka sice mechanicky přilne k oběma kontaktům, ale vodivě je nepropojí, popřípadě se propojí s velkým elektrickým odporem.



Obr. 2: Popis částí pružinového hrotu, překresleno podle [1]

Přípravek (obr. 3) dále obsahuje vodící hroty, do kterých zapadá testovaná deska, testovací jednotku, elektrické a datové propojení a také případné aretace, které testovanou desku jistí. Pomocí testovacího softwaru je možné po spojení provést řadu testů, které ověří funkčnost desky. Je doporučeno osadit i místa, které se nevyužívají při všech aplikacích, aby přípravek mohl být univerzální. Testovací hroty mají různá zakončení, např. jehla, korunka, jehlan, váleček atp.



Obr. 3: Detail přípravku s testovanou deskou

Testování pomocí hrotů na ramenech

Tato metoda je podobná testování pomocí přípravku. Rozdíl je především v tom, že se zpravidla nepoužívá tolik testovacích hrotů naráz, většinou pouze dva. Tyto hroty jsou uchyceny na robotickém rameni, které pomocí CAD dat dokáže hrot přitisknout na správné místo na desce [2]. Dva, či více hrotů poté dokáží proměřit daná místa na desce.

Optické testování

U této varianty existuje několik řešení. Optické metody nejsou založeny na testovacích hrotech, místo nich se používají kamery nebo rentgen. Automatizované optické testování používá kameru, která analyzuje desku a následně porovnává obraz z testované desky s referenčním obrazem funkční desky [3]. Optické testování se většinou nachází na konci výrobní linky a slouží na ověření finálního výrobku. Nevýhodou této metody je, že všechny spoje a body na desce, které se mají kontrolovat, musí být viditelné. Ještě

pokročilejší je poté testování pomocí rentgenového paprsku. To se používá především pro detekci mikroskopických defektů při pájení na desce. Touto metodou lze testovat i místa, která nejsou viditelná.

2.3 Komunikace

Arduino jednotky (viz. 2.4) používají pro komunikaci a konfiguraci komunikační protokoly. Komunikační protokol popisuje standart při synchronizaci mezi PC a Arduino jednotkou. Udává například, kolika bitovou informací jedna jednotka vysílá a druhá přijímá. Protokoly jsou stanoveny mezinárodně, většinou průmyslovými společnostmi či vědeckými organizacemi [4].

Komunikace může být paralelní, nebo sériová. Arduino jednotky a PC používají sériovou komunikaci. Sériová komunikace mezi zařízeními probíhá tak, že jsou jednotlivé signály zasílány za sebou. Aby byl přenos informace úspěšný, musíme zajistit, že přijímač i vysílač jsou spolu časově synchronizovány. Takový přenos může být synchronní, při kterém mají vysílač i přijímač společný hodinový signál, nebo asynchronní, při kterém má přijímač i vysílač svůj vlastní hodinový signál [5]. Hodinový signál pak vymezuje intervaly platnosti jednotlivých značek. U asynchronního signálu se zpravidla posílají krátké znaky (mezi 5 a 8 bity), přičemž k synchronizaci dochází před každým znakem pomocí startovacího bitu. Tím se na chvíli přijímač i vysílač synchronizují a dojde k přenosu informace.

2.3.1 Komunikace Arduino jednotky

Arduino jednotky obsahují analogové a digitální porty, přičemž Arduino má pouze analogový vstup, nikoliv výstup. Analogová komunikace funguje na principu spojitě funkce, v případě Arduina jsou hodnoty této spojitě funkce převáděny na hodnoty v intervalu od 0 do 1023. Používá se např. pro měření intenzity veličin pomocí snímačů. Digitální komunikace funguje na principu disktrétní funkce, která se nemění spojitě v čase. Dává tedy pouze hodnoty 0 a 1 (u Arduina se používá HIGH a LOW). Jako náhradu analogového výstupu však lze použít pulzní šířkové modulace (PWM) digitálního signálu.

Mimo to je možné periferie, připojené k Arduino řídicí jednotce, ovládat pomocí hardwarového propojení UART, nebo komunikačních protokolů I2C, nebo SPI.

UART (Universal asynchronous receiver-transmitter)

UART (česky univerzální asynchronní přijímač/vysílač) je spíše hardwarový obvod, než komunikační protokol. Funguje jako fyzické propojení dvou zařízení, přičemž má přijímat nebo vysílat data. K této komunikaci potřebuje pouze dva vodiče. Vysílající UART převede paralelní data z řídicí jednotky (např. procesoru) do sériové podoby, ty vyšle do přijímacího UART, které je převede zase zpět na paralelní data. Data proudí vodičem z Tx pinu do Rx pinu. UART posílá data asynchronně, přičemž místo synchronizace hodinového signálu UART posílá paket dat. Tento paket dat se vytváří

ve vysílacím UART, obsahuje bit označující začátek přenosu, pak samotná data, paritní bit a poté bity označující konec přenosu. Obě UART musí být nastaveny na stejnou frekvenci komunikace. Frekvence komunikace se označuje baud rate s jednotkou bity za sekundu. Běžná hodnota baud rate je 9600 bitů za sekundu. Bit označující začátek přenosu se většinou pozná tak, že UART drží vysoké napětí na datovém vodiči. Poklesem napětí se zahájí přenos. Poté přijímací UART čte bity obsahující informace, těch je buď sudý, nebo lichý počet. Paritní bit slouží pro kontrolu zasláné informace, pomocí kterého může UART ověřit, že žádné bity se při přenosu neztratily. Bit ukončující paket většinou vypadá jako pokles na nejméně dva bity.

UART komunikace je výhodná a velmi rozšířená především proto, že používá pouze dva vodiče, nepotřebuje hodinový signál a má paritní bit pro kontrolu správnosti přijaté informace [6]. Mezi její nevýhody patří to, že má omezenou velikost informace na 9 bitů, nepodporuje více pospojovaných zařízení dohromady a frekvence na přijímači i vysílači si musí odpovídat.

I2C (Inter-Integrated Circuit)

I2C (česky dvoudrátové rozhraní) je sériový komunikační protokol uzpůsobený především pro mikrokontroléry. Nejpopulárnější je právě pro připojení různých senzorů. Pomocí I2C lze připojit až 128 periférií. Lze je také spojovat za sebe tak, že jedno je hlavní (řídící) a další jsou vedlejší (řízené). I2C umožňuje takto zapojit více hlavních a vedlejších zařízení, a i přes to si udrží komunikaci. To je možné díky tomu, že I2C používá systém adres a společnou sběrnici, takže mnoho zařízení může být spojeno stejnými vodiči [7]. Poté však Arduino řídící jednotka musí vybrat správné zařízení a přiřadit mu adresu před tím, než mu bude posílat data. Takto I2C šetří počet pinů a vodičů, ovšem za cenu nižších rychlostí.

SPI (Serial Peripheral Interface)

SPI (česky sériové periferní rozhraní) je také rozhraní určené především pro mikrokontroléry. Hlavním rozdílem je to, že SPI umožňuje maximálně jedno řídicí a čtyři řízená zařízení [7]. Zároveň také vyžaduje propojení vodiči ke každému zařízení zvlášť. Na druhou stranu je SPI mnohem rychlejší než I2C. Vyskytuje se například u SD karet, displejů, či teplotních senzorů.

Pro komunikaci Arduina s PC je Arduino vybaveno USB-Serial převodníkem, takže UART poté při připojení PC používá digitální pin 0 a 1 pro sériovou komunikaci, nahrání softwaru atp. Pro komunikaci některých dalších komponent lze k Arduinu připojit na jiné piny převodníky, například RS-485 převodník, který se zapojuje na digitální piny, na napájení a zemnicí vodič a z druhé strany lze připojit komponentu, která komunikuje přes RS-485. RS-485 je druh sériové komunikace, existuje jako dvouvodičová, či čtyřvodičová verze a maximum komunikujících zařízení na jedné lince je 32. Přes převodník se připojuje měřicí jednotka.

2.4 Arduino

Arduino je řídicí jednotka postavená na open-source platformě pro jednoduché použití a modifikaci. Dokáže přijímat, zpracovávat a vysílat informace, řídit motory, ovládat LED diody atp. Arduino desky obsahují programovatelný mikrokontrolér ATmega od společnosti Atmel, který se programuje prostřednictvím softwaru Arduino IDE, přičemž jazyk, ve kterém se kód píše, je podobný programovacímu jazyku C.

Arduino mělo původně sloužit především pro podpoření informatiky na školách. Arduino je dostatečně jednoduché pro začátečníky a zároveň nabízí spoustu možností i profesionálům [8]. Pořízení Arduino desky i příslušenství je finančně nenáročné. Originální i neoficiální kopie desky se prodávají řádově za desítky či stovky korun. Programování je nezávislé na operačním systému, protože aplikace je dostupná na MacOS, Windows i Linux. Arduino IDE je také velmi jednoduchý program, Arduino většinou nainstaluje ovladače pro komunikaci s PC pouhým připojením přes USB. Celý ekosystém je pak open-source, takže se dá dále modifikovat jak po stránce softwarové, tak hardwarové. Díky těmto výhodám má Arduino velkou uživatelskou základnu napříč studenty, kutily, programátory i profesionály ve strojírenských společnostech. To také přispívá k dalšímu šíření, neboť lze velmi jednoduše na internetových fórech najít příklady, řešení problémů atp.

2.4.1 Historie Arduina

V roce 2005 vytvořili na škole Interaction Design Institute Ivrea v Itálii Massimo Banzi a David Cuartielles první Arduino. David Mellis vytvořil software, který byl založen na platformě Wiring. Dále se do vývojového týmu přidali Gianluca Martino a Tom Igoe. Ti všichni chtěli vytvořit zařízení, které bude jednoduché na programování a zároveň bude jednoduché k němu připojit řadu dalších zařízení, jako relé, motory a senzory. Chtěli zařízení, které bude levné, aby jej mohli používat i studenti. Použili k tomu osmibitový mikrokontrolér od společnosti Atmel a k němu navrhli základní desku s jednotlivými piny, navrhli firmware a vývojové prostředí (Arduino IDE), ve kterém se bude jednotka programovat.

Arduino dostalo svůj název po baru „Bar Di Re Arduino“ v Ivrei, ve kterém se vývojáři scházeli. Tento bar svůj název poté dostal po králi, který vládl Itálii v letech 1002 až 1014. Jmenoval se Arduin z Ivrei [9]. Vývojáři byli fanoušci open-source softwaru i hardwaru, zároveň po několika letech vývoje již institut nechtěl vývoj dále financovat, proto se tým rozhodl tento projekt otevřít všem.

Od té doby se Arduino dále vyvíjelo, byly vytvořeny jednotky větší, či menší, s různým počtem portů a různou výbavou. Společným prvkem je tak především vývojové prostředí a firmware, který je na mikrokontrolér nahrán. Drtivá většina verzí používá osmibitový AVR procesor od společnosti Atmel [10]. Hlavní rozdíl oproti jiným programovatelným deskám je právě vývojové prostředí a unikátní programovací jazyk.

2.4.2 Verze Arduina

V průběhu let se objevila řada verzí Arduino desek, každá z nich má jiné rozměry, počty pinů, procesor či výbavu, proto je každá vhodná pro jiné použití.

Arduino Diecimila

První široce rozšířenou verzí a deskou Arduino bylo Arduino Diecimila [11], které bylo vyvinuto v roce 2007. Je zástupcem klasické, plné velikosti Arduino desek, na kterou se připojuje největší počet Arduino shieldů². Používá procesor ATmega168, má 14 digitálních pinů (přičemž 6 z nich podporuje PWM) a 6 analogových pinů. Deska má 16 KB paměti. Pro připojení k PC používá USB-B konektor. Desku lze napájet adaptérem nebo USB připojením.

Arduino Uno Rev3

Arduino Uno (obr. 4) je momentálně nejrozšířenějším typem. Arduino Diecimila se postupně vyvíjel, tak vznikly desky Duemilanove, Uno Rev2 a následně Uno Rev3 [12]. Ta si zachovává rozměry i připojení přes USB-B. Má rozšířený počet portů o signální porty, ale zároveň je zpětně kompatibilní s přechozími verzemi. Má nový procesor ATmega328P a 32 KB paměti.



Obr. 4: Arduino Uno Rev3 [13]

Arduino Leonardo

Arduino Leonardo [14] se liší novým procesorem ATmega32u4, obsahuje více digitálních pinů (20) a má připojení přes microUSB. Deska spatřila světlo světa v roce 2012. Nový procesor zároveň umožňuje komunikovat sériově zároveň s PC přes USB a zároveň sériově přes UART. Toto předchozí desky neumí.

Arduino Mega

Potřeba většího počtu pinů dala vzniknout deskám, které jsou větší ve svých fyzických rozměrech. První takovou deskou bylo Arduino Mega [10], nyní je již nahrazeno deskou

² Arduino shield je přídatná deska plošných spojů, která rozšiřuje možnosti Arduino jednotky (viz. 2.4.3).

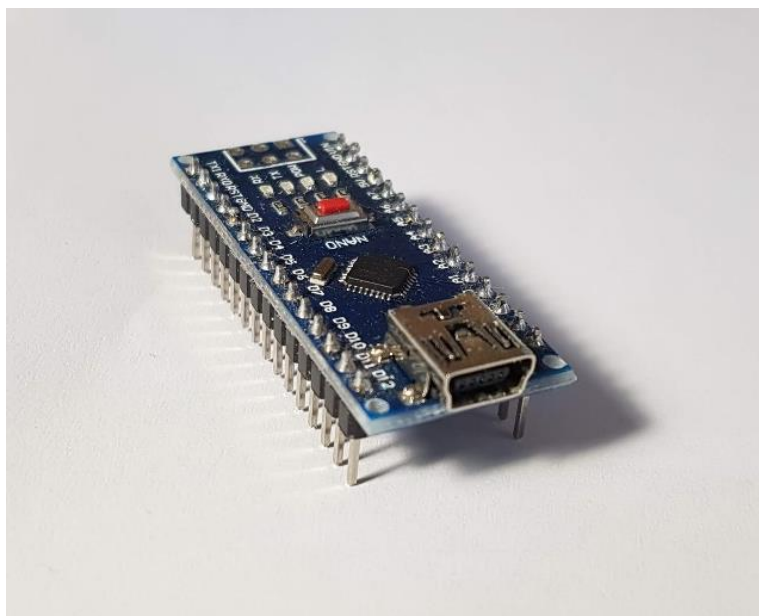
Arduino Mega2560, která má větší paměť (256 KB) a novější procesor ATmega2560. Deska má celkem 54 digitálních pinů, z nichž 15 umí pracovat s pulzní šířkovou modulací. Má také 16 analogových pinů. Existuje rovněž verze Mega ADK, která umožňuje připojení přes USB k smartphonům s operačním systémem Android prostřednictvím dalšího USB portu, který je na desce. Arduino Mega je kompatibilní s menšími deskami Arduino Uno apod.

Arduino Mini

Naopak často je nutné mít řídicí jednotku menší, než velikosti Arduina Uno. Tak vznikly malé desky, jako například Arduino Mini a Arduino Pro Mini [10]. Ty lze vložit do nepájivého pole, nejsou však osazeny USB připojením, na to je třeba redukce. Arduino Pro Mini se hodí na permanentní instalace, kde je omezený prostor. Je osazeno čipem ATmega328P, má paměť 32 KB a má 14 digitálních a 6 analogových pinů.

Arduino Nano

Arduino Nano [15] je další verzí zmenšené desky Arduino, hodí se na použití v nepájivých polích a pro osazení větších desek plošných spojů. Arduino Nano (obr. 5) je použito pro osazení Arduino shieldu. Bylo zkonstruováno společností Gravitech. Má velmi podobné parametry jako Arduino Duemilanove. Nemá napájení přes adaptér, proto se napájí buď ze základní desky, na kterou je připojeno, nebo přes miniUSB, které je zde osazeno místo USB-B. Je osazeno čipem ATmega328 nebo ATmega168, má 32 KB paměti. Má 8 analogových a 22 digitálních pinů. Z digitálních jich 6 umí použít pulzní šířkovou regulaci.



Obr. 5: Arduino Nano

Další typy

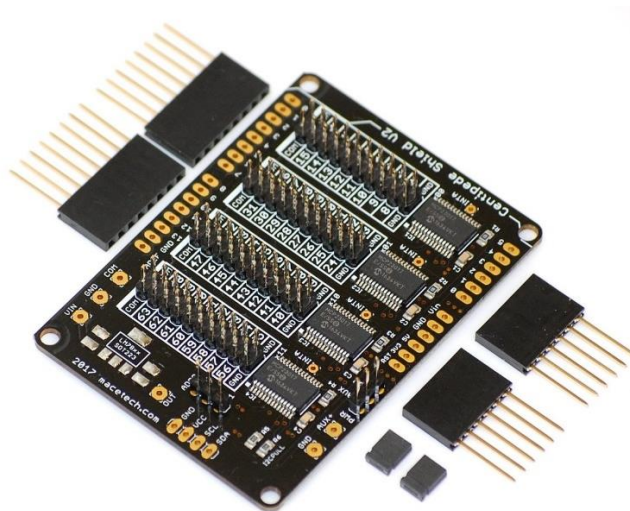
- Mezi další druhy Arduino desek patří například Arduino Fio, které je zaměřeno na bezdrátovou komunikaci, nemá tak USB, ale obsahuje bezdrátový modul XBee, přes který ho lze programovat.
- Arduino Micro je menší verze Arduino Leonardo. Má tak microUSB port a lze u něj také komunikovat zároveň s PC a zároveň sériově. Lze jej také osadit do nepájivého pole.
- Další zvláštní modifikací je Arduino LilyPad, které má kruhovou desku a pochází již z roku 2007. Lze jej použít například na chytrá nositelná zařízení [10].

2.4.3 Arduino shield moduly

Arduino shield moduly (také Arduino shieldy) jsou přídavné základní desky, které jsou zkonstruovány tak, aby se propojily s piny na Arduino jednotce. Tím se propojí napájení, digitální a analogové piny, které jsou tak dostupné na shieldu. Arduino shield moduly (dále jen shieldy) mají především rozšiřovat možnosti Arduino jednotky, přidávat další funkce a konektory [10]. Shieldy je možné si vyrobit speciální pro vlastní použití, nebo si koupit univerzální shieldy, které mají danou funkci. Slouží například pro rozšíření jednotky o Ethernet rozhraní, rozšiřují paměť o SD karty, mohou soužit pro ovládání krokových motorů, nebo připojení senzorů, například infračervených. Řada shieldů umí být skládána na sebe, takže je možné na Arduino jednotku připojit více shieldů.

Shield rozšiřující připojení

Jedním ze základních typů shieldů je ten, který rozšiřuje připojení. Buď jednotlivé piny jenom převádí na jiný druh konektoru – zpravidla větší a robustnější – bez změny signálu, nebo existují shieldy, které rozšiřují samotný počet pinů, zapojují tak svou aktivní elektroniku a komunikují s Arduinem. Ke komunikaci používají zpravidla SPI nebo I2C rozhraní. Jedním z příkladů takového shieldu je Macetech Centipede Shield (obr. 6), který používá I2C rozhraní a nabízí až 64 digitálních pinů.



Obr. 6: Macetech Centipede Shield [16]

Relé shieldy

Relé shieldy jsou osazeny jedním, nebo více relé, které jsou připojeny zpravidla na digitální piny. Relé se pomocí komunikace s Arduinem přepíná a Arduino tak může sloužit k řízení zařízení fungujících na napětí 24 V nebo vyšším.

Paměťové shieldy

V posledních letech jsou velmi populární SD a microSD flash paměti. Ty se dají připojit k Arduinu přes SPI rozhraní. Lze tak získat Arduino s výměnnou paměťovou jednotkou. Tyto shieldy se zpravidla zapojují na poslední piny (D10, D11, D12, D13), lze je skládat na sebe a kombinují se např. s rozšířením o další porty.

Komunikační shieldy

Velmi populární jsou Ethernetové shieldy, pro Arduino existuje řada knihoven, které rozšiřují možnosti Ethernetové komunikace pomocí SPI rozhraní. Nevýhodou je omezený datový tok u AVR čipů [10], kdy je reálné se dostat na 5Mb/s, 10Mb/s je spíše nepravděpodobné, proto se Arduino spíše nehodí na tvorbu mini serverů, zde lepší práci zastane Raspberry Pi. Ethernetové shieldy se naopak využívají jako komunikace při použití Arduina jako snímače, koncového efektoru nebo regulační jednotky. Dokáže tak zasílat data jako je teplota, vlhkost, intenzita světla apod.

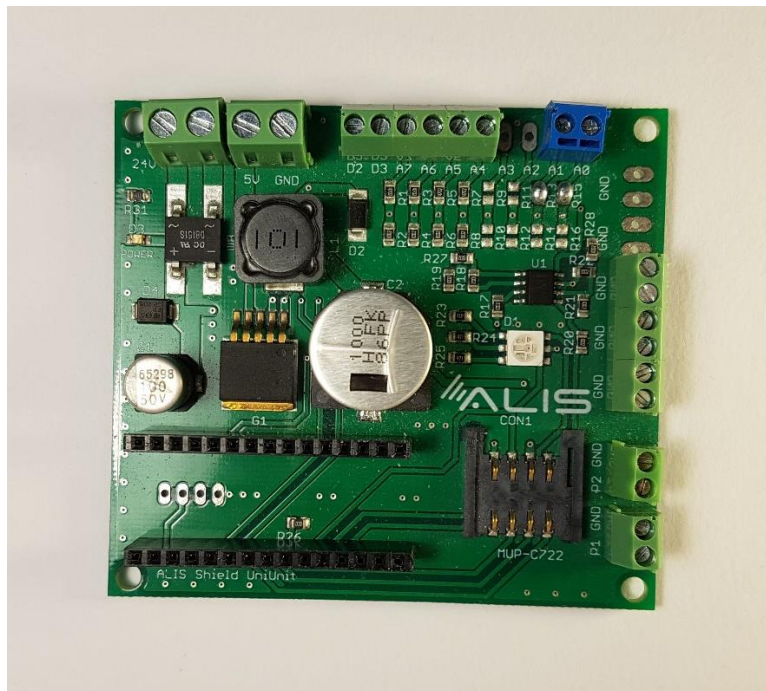
Pro krátkou bezdrátovou komunikaci lze podobně využít Bluetooth shieldy, pro komunikaci přes standardy RS-232, RS-485 nebo MIDI lze použít další podobné shieldy.

Další shieldy

Mimo to existuje řada dalších shieldů, například USB-host shieldy, kdy lze k Arduinu připojit klávesnici přes USB port, ZigBee shield pro komunikaci prostřednictvím tohoto populárního bezdrátového protokolu, různé specializované shieldy, například pro ovládání krokových motorů 3D tiskárny nebo laserového gravírovacího stroje, nebo také shieldy s LCD displejem.

Vlastní shield

Mimo to si lze navrhnout vlastní specializovaný shield, který bude plnit specifickou roli. V této práci se pracuje se speciálním shieldem (obr. 7) na Arduino Nano. Tento shield má slot na Arduino Nano, napájení na 5V, analogové porty zreplikované z Arduina (A0, A1, A2, A4), analogové porty, které jsou upraveny na 24V pomocí rezistorů (A4, A5, A6, A7), digitální piny (D2, D3), LED RGB diodu a dostatek zemnicích pinů.



Obr. 7: Specializovaný shield pro Arduino Nano

2.5 Aplikace ve strojírenství

Arduino samotné či modifikované, popřípadě Arduino s vhodnou kombinací shieldů se ve strojírenství používá v řadě aplikací. Momentálně nejpopulárnější je implementace v rámci PLC, průmyslu 4.0 a robotiky. Mimo to lze ale Arduino použít i na jednodušší řízení, například termostat. Níže jsou uvedeny ilustrativní příklady; příkladů, které si společnosti samy vyvíjejí je však nespočet. Ještě větší počet je poté přístrojů, které vymýšlejí kutilové pro své použití.

Controllino

Controllino je programovatelný logický automat (PLC) od výrobce SG-TRONIC, založený na platformě Arduino [17]. Lze jej programovat přes Arduino IDE, je open-source a operuje při vyšších napětích díky relé. Mimo 21 digitálních pinů obsahuje také Ethernet port a USB-B port a komunikuje přes RS-485, SPI i I2C, tak jako Arduino. Je velmi rozšířený, používají ho například společnosti Volkswagen, Sony, Festo nebo SAP. Controllino se dá uchytit na jističovou lištu.

Ovládání průmyslového robota

Arduino lze naprogramovat tak, aby rozpohybovalo celého průmyslového robota. Pro vizualizaci zapojení je možné použít program Autodesk Tinkercad Circuits. Na přímé vstupy je možné připojit senzory na robota, koncové efekty (jako například ovládání chapadla) i servomotory jednotlivých pohybových os. Práci robota je poté možné zautomatizovat přednastaveným programem, nebo s ním pohybovat manuálně.

Chytrý termostat

Chytrý termostat je ve svém principu programovatelný kontrolér, který hlídá správnou hladinu teploty [10]. Některé zvládají změnu teploty řídit přes bezdrátové sítě, jiné jsou připojeny na vnitřní síť a ovládají se přes PC. Je možné teplotu nastavovat manuálně nebo si přednastavit programy v závislosti na denní době a ročním období. Zpětně se poté dají data použít pro zjištění, která část domácnosti spotřebovává nejvíce tepla. Termostat je připojený přes shieldy nebo přes relé k jednotlivým ventilům, které může otevírat a zavírat.

2.6 Programování Arduino jednotky

Programování Arduino jednotky probíhá na jiném zařízení s jiným systémem (např. Windows, Linux), většinou v softwaru, který napsaný kód zkompiluje a nahraje do Arduina. To především proto, že malé mikrokontroléry nemají zdroje pro to, aby zkompilevaly napsaný program. Některá vývojová prostředí mají dokonce emulátor, který simuluje jednotku a dokáže tak zkompilovaný projekt otestovat na chyby.

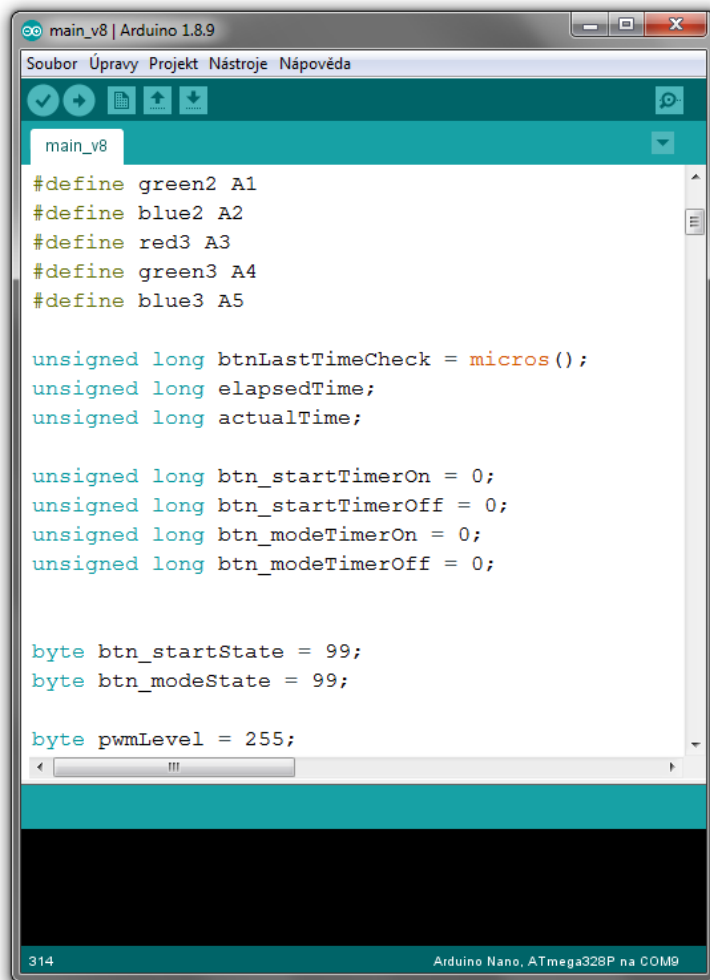
Základní metodou, jak dostat zkompilovaný program na jednotku je pomocí bootloaderu. Bootloader je část firmwaru, který je stále nahraný na jednotce právě za účelem nahrání zkompilovaného softwaru. Mikrokontroléry AVR řady si vyhražují z paměti část místa pro bootloader. Arduino bootloader je již předinstalovaný z výroby, při kompilaci programu si uživatel vybere, jaký bootloader a jaká deska je připojena a poté dojde k nahrání programu.

Pro psaní kódu a následnou kompilaci lze využít mnoha vývojových prostředí. Jedním z nejpokročilejších je Microsoft Visual Studio. To se běžně používá pro psaní v jiných jazycích, ale lze do něj doinstalovat plugin pro Arduino. Visual Studio obsahuje řadu pokročilých funkcí, hodí se pro práci profesionálů a jejich spolupráci.

Arduino IDE

Pro běžné použití, jako například kutily a studenty, však plně dostačuje vývojové prostředí Arduino IDE (obr. 8). To má zároveň zaručenou kompatibilitu a podporu ze strany Arduino komunity. Arduino IDE se skládá z několika částí. Tu hlavní tvoří prostor pro psaní kódu. Pod ní se nachází výstup, na kterém jde vidět proces kompilace, to jestli byla úspěšná a to, jestli se úspěšně nahrál kompilovaný software na desku. Další důležitou částí je sériový monitor. Přes ten lze komunikovat s Arduino deskou a naopak od ní dostávat informace. Dále se v Arduino IDE dají doinstalovat některé knihovny,

které slouží k rozšíření možností Arduino desky a jednoduššímu psaní kódu pro specifické užití.



```
main_v8
#define green2 A1
#define blue2 A2
#define red3 A3
#define green3 A4
#define blue3 A5

unsigned long btnLastTimeCheck = micros();
unsigned long elapsedTime;
unsigned long actualTime;

unsigned long btn_startTimerOn = 0;
unsigned long btn_startTimerOff = 0;
unsigned long btn_modeTimerOn = 0;
unsigned long btn_modeTimerOff = 0;

byte btn_startState = 99;
byte btn_modeState = 99;

byte pwmLevel = 255;
```

Obr. 8: Prostředí programu Arduino IDE

Na psaní programu pro testování Arduino shieldu bylo použito Arduino IDE, které bylo funkčně dostatečné, a to jak pro testovací, tak testovanou jednotku.

Arduino programovací jazyk

Jádrem programovacího jazyku Arduino je jazyk C, který byl vytvořen v Bellových laboratořích na začátku 70. let. Je to počítačový programovací jazyk, vytvořený pro fungování na počítačích s operačním systémem UNIX. Jazyk C používá procedurální syntaxi, kdy kód, který je čitelný pro člověka, je zkompileován do příkazů pro počítač. Většina kódu pro Arduino je stejná svou syntaxí s jazykem C. Jazyk C je však zbytečně komplikovaný a špatně pochopitelný pro začátečníky, proto Arduino tým vyvinul knihovnu Arduino, která zjednodušuje některé funkce a syntaxi [18]. Zároveň se zde objevují unikátní funkce, které v surovém jazyce C nejsou, jako například `pinmode()`, `digitalWrite()`, `delay()` a další.

Rozdíl v zápisu toho samého je na následujícím příkladu. Zde se má rozblíkat LED, která je k jednotce připojena.

Skript 1: Blikání LED napsané v jazyce C [18]

```
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

int main(void) {
    while (1) {
        PORTB = 0x20;
        _delay_ms(1000);
        PORTB = 0x00;
        _delay_ms(1000);
    }
    return 1;
}
```

Skript 2: Blikání LED napsané s Arduino knihovnou [18]

```
void setup() {
    pinMode(13, OUTPUT)
}

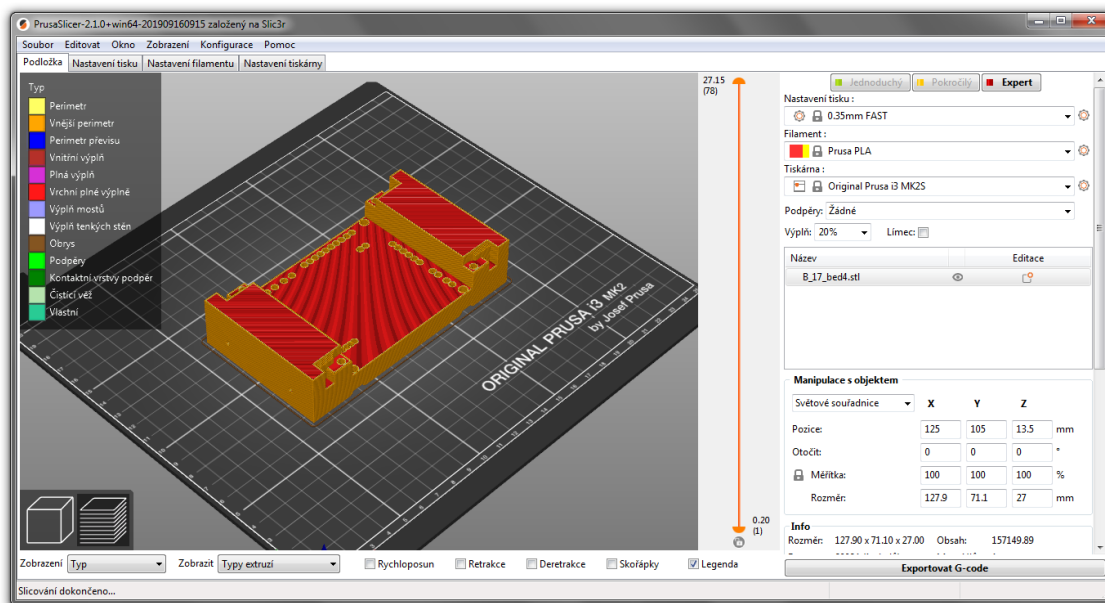
void loop() {
    digitalWrite(13, HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(13, LOW);
    delay(1000);
}
```

Tyto dva zápisy ve výsledku dělají to samé. Nevýhodou je, že druhý zápis zabírá více místa, neboť Arduino knihovna je docela rozsáhlá. Naopak zápis s Arduino knihovnou je pochopitelnější, například připojení LED na pin 13 lze daleko obtížněji vyčíst z prvního zápisu. Vesměs se však dá považovat psaní s Arduino knihovnou za psaní v Arduino jazyce.

Struktura Arduino programu je jednoduchá. Jako první proběhne funkce `setup()`, která proběhne jednou, slouží k nastavení módů, pinů apod. Poté následuje funkce `loop()`, která probíhá neustále dokola a v ní je vnořeno to, co má Arduino dělat, zpravidla je to sled dalších funkcí [10]. Před `setup()` se zpravidla zapisují definice proměnných a konstant. Za `loop()` je možné si zapsat funkce, které se používají v `loop()`.

2.7 3D tisk

3D tisk je jednou z technologií rapid prototypingu. Rapid prototyping je možnost rychlé výroby jednotlivých verzí produktu, který se zrovna vyvíjí a testuje. 3D tisk je aditivní technologie, to znamená, že na rozdíl od obráběcích procesů materiál neubírá, ale naopak přidává. Konstruktor zpravidla vytvoří těleso pomocí 3D CAD modeláře, pro tisk je poté těleso vloženo do aplikace, která se jmenuje slicer (obr. 9). Zde se nejdříve z tělesa udělají tenké vrstvy, které tiskárna bude tisknout. Tiskárna může tisknout z roztaveného plastu, kovu či jiných materiálů. Lze takto tisknout prototypy, makety či testovací modely ve všech odvětvích průmyslu.



Obr. 9: Prostředí programu PrusaSlicer

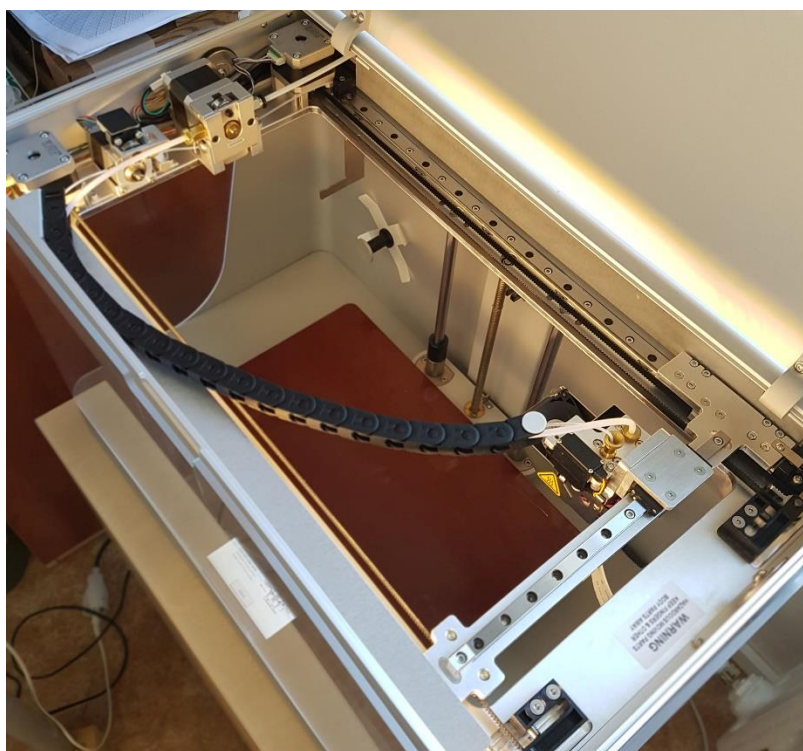
Rozvoj 3D tisku zlevnil 3D tiskárny natolik, že si je mohou dovořit i malé společnosti a kutilové. Nejvíce k tomu přispěl open-source projekt tiskárny RepRap, jejíž díly navíc mohou být tisknuty na tiskárně samotné. Z projektu RepRap se poté zrodily tiskárny od Prusa Research, české společnosti, která je momentálně jednou z největších výrobců 3D tiskáren na světě. Open-source hardware zde používají i velké společnosti, dále ho rozvíjí a spolupracují mezi sebou [19]. To bylo dříve běžné spíše jen u softwaru, ale v případě 3D tiskáren se spolupráce osvědčila a trh s 3D tiskárnami je jeden z nejrychleji rostoucích. Dnes se používají např. i pro tisk implantátů a lékařských potřeb.

2.7.1 Typy 3D tiskáren

FDM tiskárny

Existuje několik druhů 3D tisku, nejrozšířenějším typem je FDM (Fused Deposition Modelling), to je nejrozšířenější a nejjednodušší metoda ze všech. FDM používá plasty, jako například ABS nebo PLA, které nahřívá na teplotu tavení, která je okolo 230 °C. Plasty se prodávají ve formě navinutých strun, kterým se říká filament. Materiál po

natavení prochází hrotem trysky a vytlačuje se na heatbed³, nebo na již vytisknutou vrstvu. Natavení probíhá v extruderu⁴. V extruderu se zpravidla nachází i mechanismus posunování filamentu. Takto je vyráběna většina FDM tiskáren. Některé však mají mechanismus posunování filamentu mimo extruder, přičemž filament je do extruderu tlačěn z jiného místa bowdenem (obr. 10). Toto řešení snižuje hmotnost tiskové hlavy. Nevýhodou je ale méně přesné podávání filamentu, zvláště pokud se jedná o velmi flexibilní materiál.



Obr. 10: Detail bowdenové tiskárny Morkforged Mark Two, lze vidět bílý bowden včetně mechanismu posunování filamentu

Pro určení polohy trysky se používá kartézské souřadnice, ve kterých se tryska pohybuje pomocí krokových motorů. Existují dva druhy tiskáren, jedny pohybují heatbedem v ose Z a mají pevně uchycený extruder, druhé mají pevně uchycený heatbed v ose Z a celý pohyb zajišťuje extruder. V případě FDM tiskáren je ze sliceru vygenerována výsledná dráha, kterou musí extruder projet, ta je většinou uložena jako *.gcode*, což je formát shodný s formátem, který se používá pro pohyb CNC strojů. Pohyb je realizován pomocí krokových motorů a vodících tyčí, zpravidla v kombinaci s vodícím šroubem nebo řemenem.

Speciálním příkladem FDM tiskáren jsou delta tiskárny, ty mají extruder zavěšený na třech ramenech, která pohybem v ose Z udávají polohu extruderu v prostoru.

Nevýhodou FDM tiskáren je, že mají problém s tiskem určitých geometrií, zvláště pak převisů. Ty se musí poté tisknout za pomoci podpor, které se z materiálu po tisku

³ Heatbed je nahřátá podložka pro tisk.

⁴ Extruder je část tiskárny, kde se nachází topné těleso a také hrot. Dá se též označit jako tisková hlava.

odstraní [20]. Již existují i speciální materiály na podpory, které jsou rozpustné ve vodě a odstraňují se po tisku tak, že součást necháme chvíli ponořenou ve vodě.

Stereolitografické tiskárny

Stereolitografické tiskárny používají laser a světločivou pryskyřici, která se po dopadu laserového paprsku vytvrzuje [20]. Tekutá pryskyřice je nalita do nádoby, nad kterou se nachází i tisková podložka. Mezi nimi je tenká vrstva pryskyřice, kterou na sebe doléhají a která je ozařována laserem. Podložka se postupně vytahuje vzhůru a mezitím laser vytvrzuje další vrstvy vysoké desetiny, nebo setiny milimetru. Pryskyřice je citlivá na určitou vlnovou délku, obvykle v UV spektru. Tento druh tisku nemá takové požadavky na tvar tělesa a také je mnohem detailnější než FDM tisk. Požívá se pro tisk bižuterie, ve zdravotnictví a pro další drobné modely. Mezi nevýhody patří omezený výběr barev a materiálů, které je nutné nakupovat přímo od výrobce tiskárny.

SLS tiskárny

SLS (Selective Laser Sintering) tiskárny fungují na principu slinování polymerů pomocí laseru. V současné době se jedná o nejdražší, ale nejkvalitnější metodu 3D tisku polymerů. Podobně jako u stereolitografie, pracuje tato technologie s polymery, které se taví pomocí světla, ale zde je polymer ve formě prášku, který se slinuje vysokou teplotou [20]. Jednotlivé vrstvy se taví na sebe tak, jak se podložka posouvá dolů, výhodou této metody je, že jednotlivé vrstvy se k sobě lépe nataví. Výška vrstvy je typicky jedna desetina milimetru. Další výhodou je, že zde není potřeba podpor, protože objekt drží v nenataveném prášku. Tímto způsobem lze tisknout však nejen z polymerů, SLS tisk se používá i pro kovy. Výsledné výtisky mají mechanické vlastnosti srovnatelné s litými součástmi a lze je rovnou používat jako finální výrobek.

Výběr tiskárny

Vzhledem k nízkým kvalitativním požadavkům a potřebě mít 3D tisk dostupný, cenově nenáročný a co nejrychlejší bylo přistoupeno k výběru FDM tiskárny. Pro tisk přípravku byla konkrétně použita tiskárna Original Prusa i3 MK2S (obr. 11) od českého výrobce Prusa Research, kterou vlastním. Je to klasická FDM tiskárna, která má pohyblivou osu Z, vychází z tiskáren RepRap a je vylepšeným modelem tiskárny MK2. Oproti ní má lepší upevnění ložisek a komponent, nová ložiska a hlazené pohybové tyče. Tiskárna sice již dnes nepatří mezi nejnovější, ale i tak nabízí výborné tiskové vlastnosti, stále je podporována aktualizacemi a lze ji vylepšovat. Široká uživatelská základna výrobce Prusa Research zároveň dokáže poradit s případnými nejasnostmi. Tiskárna ve své době získala řadu ocenění od renomovaných časopisů i internetových recenzentů, například od časopisu Make.



Obr. 11: Vlastní Original Prusa i3 MK2S při tisku krabice přípravku

Výsledná kvalita tisku je dostatečná nejen pro prototypy, ale i finální výrobky. Pro výše uvedené výhody a momentální dostupnost byla použita pro tisk komponent pro tuto bakalářskou práci.

2.7.2 Druhy materiálů

3D tisk nejčastěji pracuje s různými druhy polymerů, a to jak pevnými, tak flexibilními, ty se také začínají vyztužovat jinými materiály, například uhlíkovými či skelnými vlákny, 3D tisk se však začíná používat i pro kovy, zde se většinou slinují kovy pomocí laseru, například ocel, slitiny titanu nebo hliníku. Mimo technické aplikace pak stojí 3D tisk potravin.

Kyselina polymléčná (PLA – polylactic acid)

Velmi rozšířený druh materiálu a možná také nejoblíbenější. Mezi jeho výhody patří cena a nízká obtížnost a náročnost tisku. Výtisky se zpravidla povedou, i když nejsou tisknuty v ideálních podmínkách a lze tisknout na více druhů podložek. PLA se vyrábí z kukuřice

a je biodegradabilní⁵. PLA patří mezi tvrdé plasty, snadno se láme. Nabízí se v široké škále pestrých barev. Heatbed se zpravidla nahřívá na 60 °C a tryska na 235 °C.

Akrylonitrilbutadienstyren (ABS)

Akrylonitrilbutadienstyren je velmi populární druh materiálu do 3D tiskáren, má lepší mechanické vlastnosti než PLA, je odolný proti nárazům i teplotě. Je také rozpustný v acetonu, což se používá pro lepení jednotlivých dílů dohromady [21]. Na druhou stranu je velmi náchylný na podmínky při tisku, má velkou tepelnou roztažnost a je velmi obtížné tisknout rozměrné objekty. Také se snadno odlepuje od podložky. Heatbed se zpravidla nahřívá na 100 °C a tryska na 255 °C.

Polyethylentereftalát (PET-G)

Polyethylentereftalát s modifikovaným glykolem (PET-G) kombinuje dobré vlastnosti obou předchozích. PET-G má malou tepelnou roztažnost, proto je snadnější s ním tisknout, zároveň je houževnatý, neláme se a má dobrou tepelnou odolnost [21]. Je vhodným pro díly, kde je třeba lepší odolnosti a pro venkovní použití. Nelze jej však rozpouštět v acetonu a při tisku tvoří malé vlasové otřepy po retrakci⁶. Heatbed se nahřívá na 100 °C a tryska na 240 °C.

Pružné filamenty

Na trhu je značné množství pružných filamentů, například pružné PLA, NinjaFlex, nebo Filaflex [22]. Tyto filamenty se používají na objekty, které mají nahrazovat určité gumové komponenty, například nárazníky, nebo těsnění. Klasické tiskárny dokáží tyto materiály tisknout bez větších problémů, je třeba je jen správně nastavit, především podstatně snížit rychlost tisku. Tiskárny s bowdenem však nejsou pro pružné filamenty vhodné, protože v bowdenu zpravidla dochází k ohnutí filamentu, který se poté netlačí do extruderu. Vhodné je také nanést obyčejné kancelářské lepidlo na tiskovou plochu, které zajistí zvýšení přilnavosti.

Kovové a další materiály

Slinování kovového prášku pomocí laseru je druhem 3D tisku, používající titan a některé drahé slitiny. Další možností je tisk do kovového prášku, kdy filament z polymeru pospojuje kovový prášek do výsledného tvaru a poté je odstraněn vysokou teplotou. Po jeho odstranění vznikne pórovitý materiál, který je následně vyplněn např. bronzem a může se dále povrchově upravovat. Ke 3D tisku se dále používají různé kompozity, nebo některé druhy keramiky. Všechny tyto metody jsou však finančně náročné a používají se v high-tech průmyslu. [22]

Výběr materiálu

Pro tisk přípravku byl použit materiál PLA, a to proto, že je cenově výhodný a jeho mechanické vlastnosti jsou naprosto dostačující pro toto použití. Do PLA se velmi snadno zařezávají metrické šrouby a zároveň v něm velmi dobře drží, takže i spojování jednotlivých kusů bylo poměrně snadné. Výsledný výtisk PLA je navíc esteticky hezký

⁵ Snadno rozložitelný v přírodě.

⁶ Posun filamentu zpět z trysky do topného tělesa při dokončení pohybu.

a při tisku velkých částí lze ocenit spolehlivost tisku z PLA. V neposlední řadě tisknutí děr na testovací hroty by bylo obtížnější z jiných materiálů, tiskárna relativně spolehlivě zvládala i častou retrakci při tisknutí těchto malých děr.

3 KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit prototyp přípravku, který bude testovat Arduino řídicí jednotku. Přípravek je ve strojírenství přístroj, do kterého se uchycuje výrobek, například surový obrobek na úpravu, nebo pro usnadnění montáže na výrobku. Je většinou jednoúčelový, vytvořený přímo pro konkrétní výrobek. Mimo mechanické uchycení dojde i k jeho elektronickému uchycení, proto může přípravek plnit i testovací funkci.

Protože se jedná o prototyp a dochází k několika iteracím konstrukce přípravku, byla značná část přípravku tisknuta na 3D tiskárně pro zrychlení a zjednodušení samotné konstrukce a otestování funkce přípravku. Arduino řídicí jednotka je uchycena v shieldu, který je účelově vyrobený a je tedy speciálně navržen pro jednu úlohu. Mimo to se k shieldu připojuje převodník signálu mezi UART rozhraním a RS-485 rozhraním a také měřicí jednotka, která je připojena k převodníku.

K otestování jednotky a připojených komponent je třeba zkonstruovat přípravek, do kterého dolehne deska plošných spojů (v tomto případě tvořena shieldem), dolehnutím na testovací hroty se propojí s testovací Arduino jednotkou, která má v sobě nahraný program na testování jednotek a která provede test. Pro provedení testu je třeba sepsat program, který bude vyhodnocovat funkčnost komponent. Systém kontroly probíhá tím způsobem, že uživatel zapne napájení testovacího přípravku, přiloží testovanou jednotku, vybere a spustí test. Test vyhodnotí funkčnost komponenty a světelně a akusticky oznámí výsledek.

Smyslem tohoto zařízení je vytvoření přístroje, který umí snadno a efektivně kontrolovat větší množství základních desek tak, aby bylo uživatelsky přívětivé a šetřilo čas. S přípravkem není nutné složitě připojovat jednotku k multimetru pomocí krokosvorek a hrotů a proměřovat vybrané obvody. Není nutné také připojovat jednotku k PC pro otestování komunikace. To vše přináší úsporu času kutilům a úsporu financí a času společnostem, které potřebují otestovat velké množství přijatých desek před jejich další úpravou, či zprovozněním. Další výhodou je, že takto desky může testovat i nekvalifikovaný zaměstnanec, protože vyhodnocování dělá přípravek.

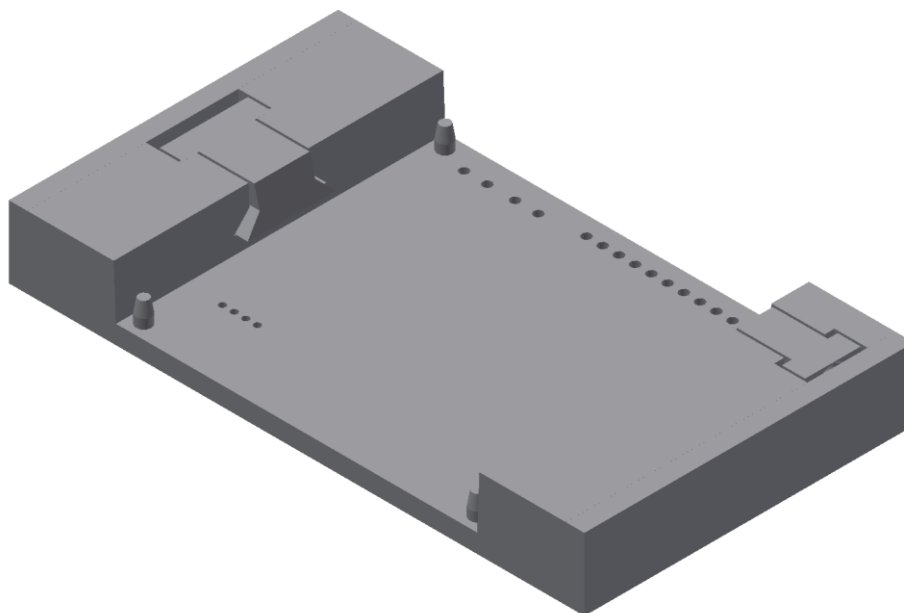
3.1 Mechanická konstrukce

V případě konstruování mechanické konstrukce se postupovalo v několika iteracích, které postupně eliminovaly problémy, především nedostatečné ergonomie a rychlosti vkládání přípravku.

3.1.1 První iterace

V první iteraci (obr. 12) bylo především proměřeno, jaké rozměry má deska plošných spojů, na jakých přesných místech se vyskytují vodivá spojení, na která mají dopadat testovací pružiny a kde se vyskytují díry v desce na vodící hroty. Místo, do kterého

se deska vkládá je drobně zkosené ($2^{\circ}30'$), aby správně zapadla. Vodící hroty zde jsou tištěny. Aretace desky je zde pomocí šoupátek, která jsou tlačena pružinami, deska tak „zacvakne“ v hloubce, kdy se již spojily testovací hroty. Díry na testovací hroty byly plánovány tak, aby konec hrotu nijak nezajížděl do spodní části přípravku.



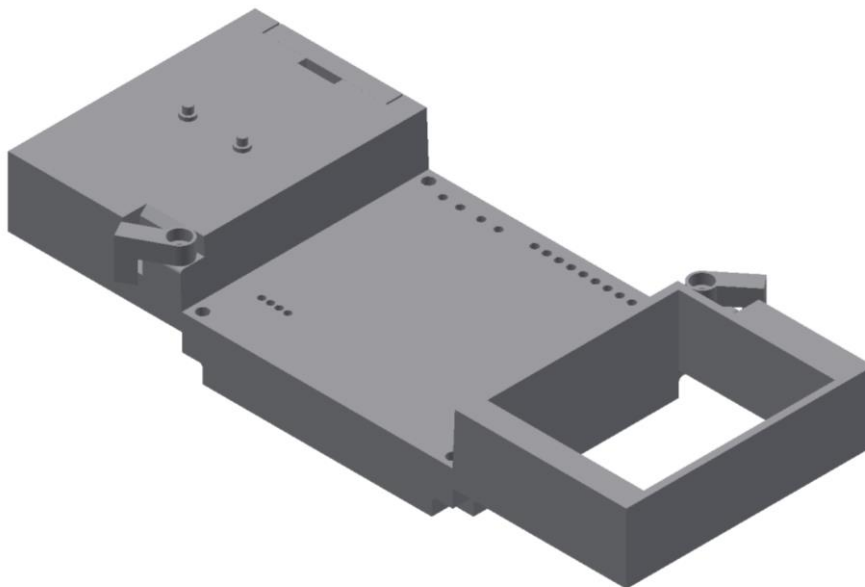
Obr. 12: První iterace

Celkově se toto řešení ukázalo jako nevhodné. Desku totiž v ideálním případě není nutné aretovat, stačí ji přidržet, a toto řešení by ji zaaretovalo vždy. Odaretování je navíc velmi neergonomické; je na něj třeba značného úsilí, protože pružiny tvořily značný odpor a šoupátka klouzala pod prsty. Pružiny však silné být musely, aby desku udržely. Také vodící hroty byly shledány jako nedostatečně pevné, neboť při drobném naklonění desky (např. při vysouvání) se ulomily. To bylo způsobeno technologií 3D tisku, kdy je nutné tisknout zespoda nahoru, aby byly díry na testovací pružiny dostatečně přesné.

3.1.2 Druhá iterace

Druhá iterace (obr. 13) přinesla opravy nedokonalostí iterace první a některé další funkce. Protože není nutné aretovat shield vždy, byla šoupátka na pružinách nahrazena otočnými zarážkami, které jsou k základně přišroubovány. Zahloubení šroubu však umožňuje otáčení zarážkou. Vodící hroty byly vymazány. Zároveň i díry pro pružinové hroty jsou řešeny odlišně, a to v kombinaci s vodícími hroty. Na základně byl rozšířen průměr děr na pružinové hroty tak, aby i jejich konec zajížděl dovnitř. Upevnění pružinových hrotů je místo toho řešeno pomocí další desky, která se nachází pod základnou. Zde jsou již menší díry, které drží pružinové hroty. Tato spodní deska s hroty se poté připevňuje k základně pomocí kuželových kolíků 3 x 20 DIN 1/A1, které jsou umístěny v rozích

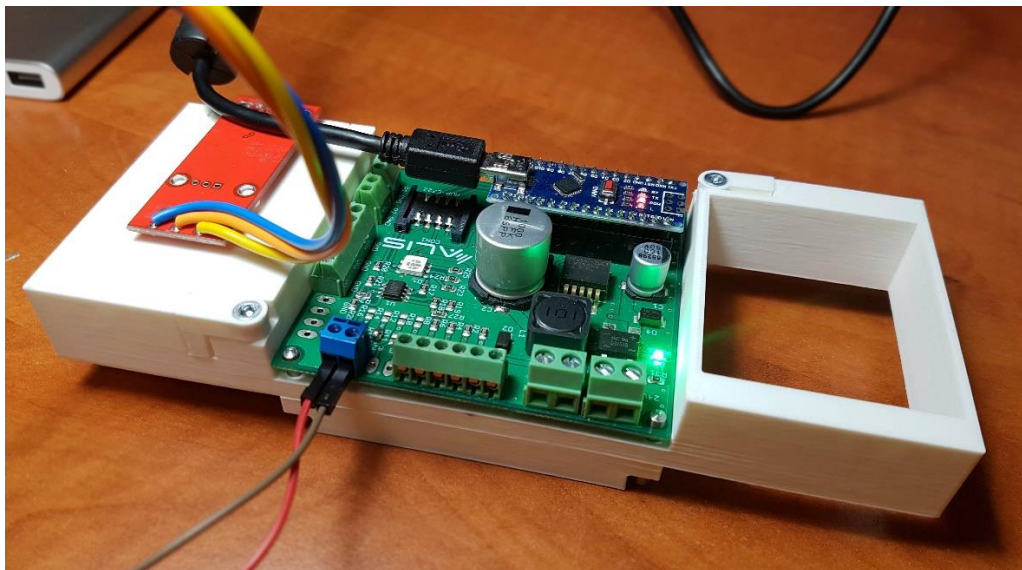
a vkládají se do děr na základně i desce jako uložení s přesahem. Tyto kolíky pak zároveň plní funkci vodících hrotů.



Obr. 13: Druhá iterace

Poté byly doplněny boky, přičemž pravý bok je vyhrazený pro vložení dalšího dílu, který drží ovládací tlačítka a stavové LED, levý bok slouží pro umístění a zapojení převodníku mezi UART rozhraním a RS-485 rozhraním pro zapojení měřicí jednotky. Převodník drží na dvou výstupcích a čtyřpinovém DuPont konektoru. DuPont konektor je zde přichycen zašroubovanou malou destičkou, která má zespodu průchod na kabely na propojení spodem se shieldem pomocí pružinových hrotů.

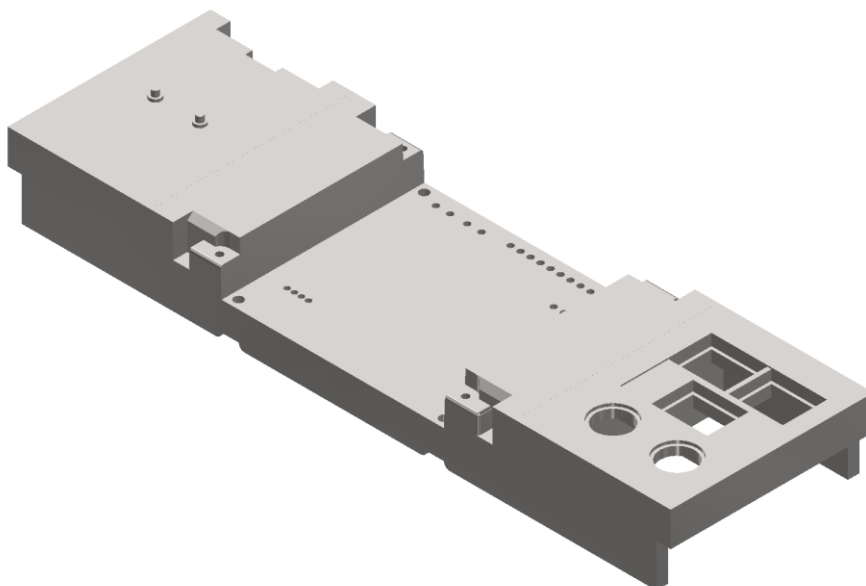
Ani toto řešení se neosvědčilo. Systém dvou vrstev, spojených kolíkem byl zbytečně komplikovaný a nepřesný (obr. 14). Počet aretovacích zářezek nebyl také dostatečný, protože větší počet pružinových hrotů odtlačoval desku v protilehlých rozích. Vkládání dalšího kusu jako držáku LED a ovládacích tlačítek sice byl dostatečný, ale je možné jej udělat efektivněji.



Obr. 14: Testování druhé iterace bez pružinových hrotů

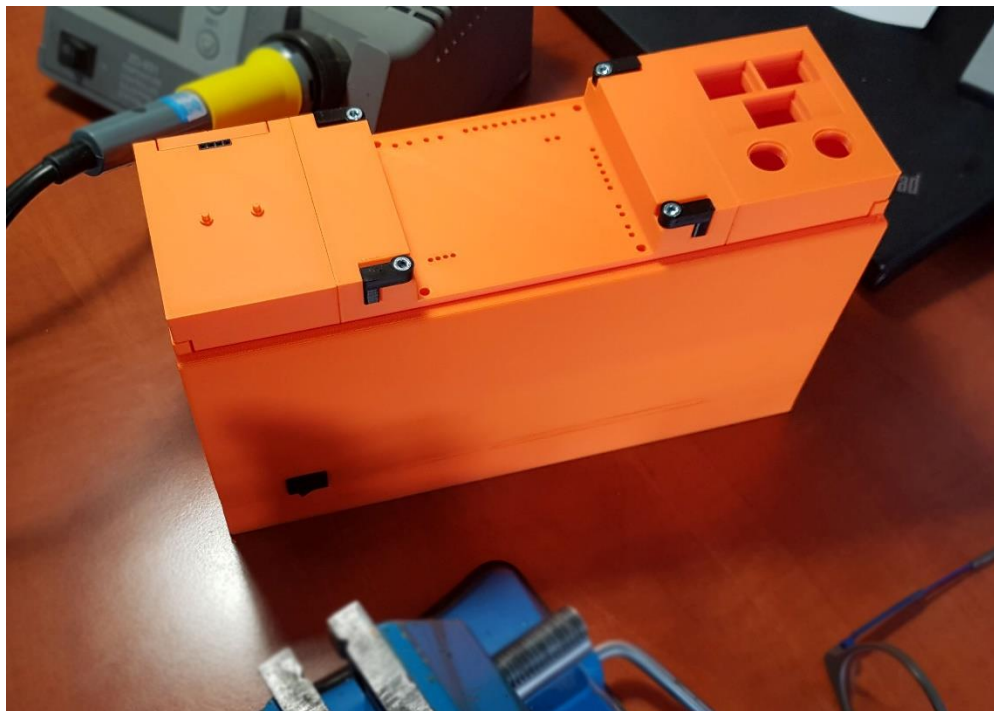
3.1.3 Třetí iterace

Třetí iterací (obr. 15) došlo ke kompletnímu převedení na modulární konstrukci a tím odstranění předchozích chyb. Došlo k rozdělení přípravku na tři části, které se mezi sebou spojují zašroubováním a lze je kdykoliv modifikovat a vyměnit. Nejméně se změnil držák na převodník; ten byl pouze vymodelován jako samostatný díl s dírami na šrouby. Dále byla doplněna zarážka, která slouží na dosazení celé sestavy na krabici obsahující všechny elektronické komponenty.



Obr. 15: Třetí iterace

Pravý bok, který obsahoval držák na LED a tlačítka byl převeden na samostatný blok. Z toho důvodu byl rozšířen na stejný rozměr jako levý bok, byly doplněny díry pro přišroubování na prostřední díl a doplněny zářežky pro dosazení na krabici (obr. 16).



Obr. 16: Díly třetí iterace včetně krabice na přípravek

Nejvíce se změnil prostřední díl, byl rozšířen tak, aby bylo možné snadno přišroubovat z obou boků oba díly. Dále byly otočné zářežky doplněny i na zbývající rohy. Největší změnou je zrušení spodní desky, fixující pružinové hroty. Tento systém byl nahrazen jednou základnou, která má větší tloušťku a díry mají dva průměry, díky kterým je možné špičky hrotů zasouvat až do základny, ale zároveň hroty drží v díře. Kuželové kolíky byly ponechány, avšak nyní plní funkci pouze vodících kolíků.

Velkou výhodou tohoto řešení je převedení konstrukce celého přípravku na jednotlivé díly. Při změně testované desky tak nyní stačí pouze upravit prostřední díl a přešroubovat jej. Modulární konstrukce šetří náklady a zvyšuje se variabilita přípravku.

3.2 Spojování jednotlivých částí

Části přípravku byly spojovány především sešroubováním k sobě. Pro spojování jsem použil šrouby s metrickým závitem velikosti M3 s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem různých délek. Šroubovány jsou přímo do plastu jednotlivých částí. PLA plast je tvrdý tak, aby šroub udržel dané části, ale zároveň dostatečně poddajný na to, aby i metrický šroub byl schopen si sám prořezat závit ve vytištěné díře.

Díky tisknuté na 3D tiskárně ve vodorovné pozici jsou modifikovány tak, že vrchní část díry má trojúhelníkovou špičku (obr. 17). Toto řešení usnadňuje přemostění volného prostoru při tisku, takže se snadněji tiskne. Zároveň napomáhá snadnějšímu zařezání závitu šroubu.



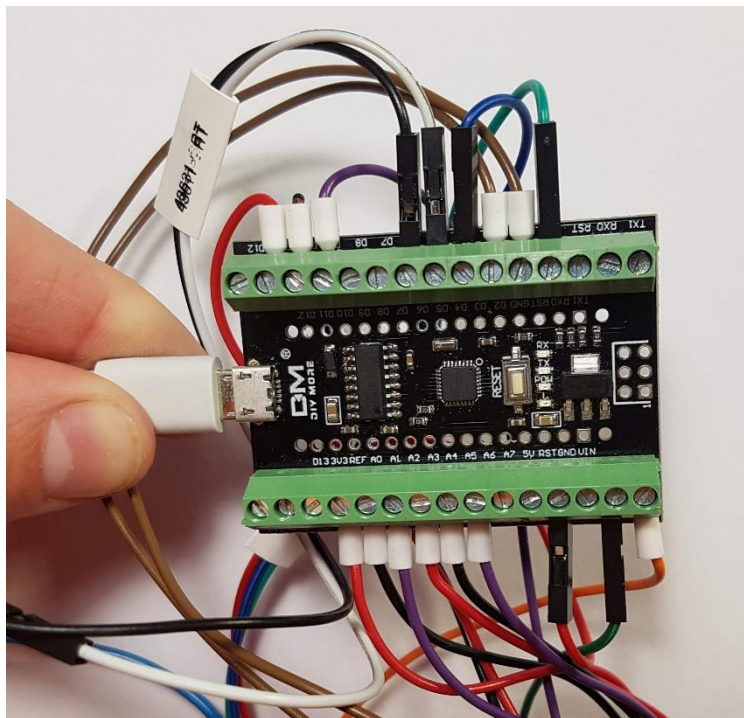
Obr. 17: Detail děr se špičkou pro zařezání šroubu.

3.3 Elektrické zapojení

Prototyp přípravku se skládal z následujících komponent:

- Arduino Nano jednotka s terminálovým shieldem
- Stepdown nastavitelný měnič s LM2596
- Piezo akustický bzučák
- Relé modul 5 V jednobanální
- Tři RGB LED 5050 moduly
- Dva tlačítkové spínače PBS-33B-Y
- Pružinové testovací hroty
- DuPont čtyřpinový konektor

Jádrem celého testovacího přípravku je Arduino Nano, které slouží jako testovací jednotka a je v něm nahrán testovací software. Arduino je uchyceno přímo na desce terminálového shieldu (obr. 18), shield pouze zvětšuje jednotku a zlepšuje přístup k jednotlivým portům, do kterých lze snadno zašroubovat kabel v kabelové dutince. Dále je zde jen standardní microUSB port pro připojení k PC.

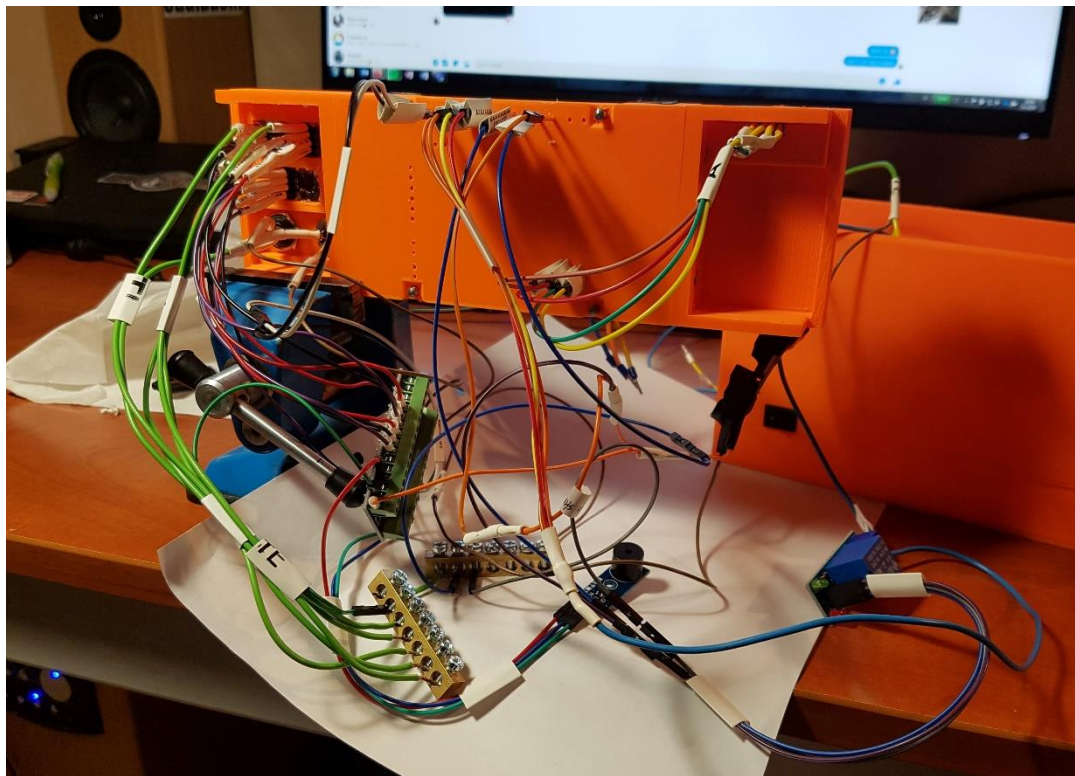


Obr. 18: Arduino Nano v terminálovém shieldu

Stepdown nastavitelný měnič zde slouží jako DC-DC převodník. Celý přípravek se připojuje do elektrické sítě přes adaptér, na jehož výstupu je 24 V stejnosměrný proud. Přípravek však pracuje se dvěma obvody, jako hlavní se používá 5 V stejnosměrný obvod, kterým je napájena většina komponent včetně testovací jednotky. Napětí pro tento obvod zajišťuje měnič, který vstupní napětí 24 V mění na 5 V na výstupu. Druhý, 24 V stejnosměrný obvod slouží pouze pro signál, který vysílá relé a pro napájení měřicí jednotky.

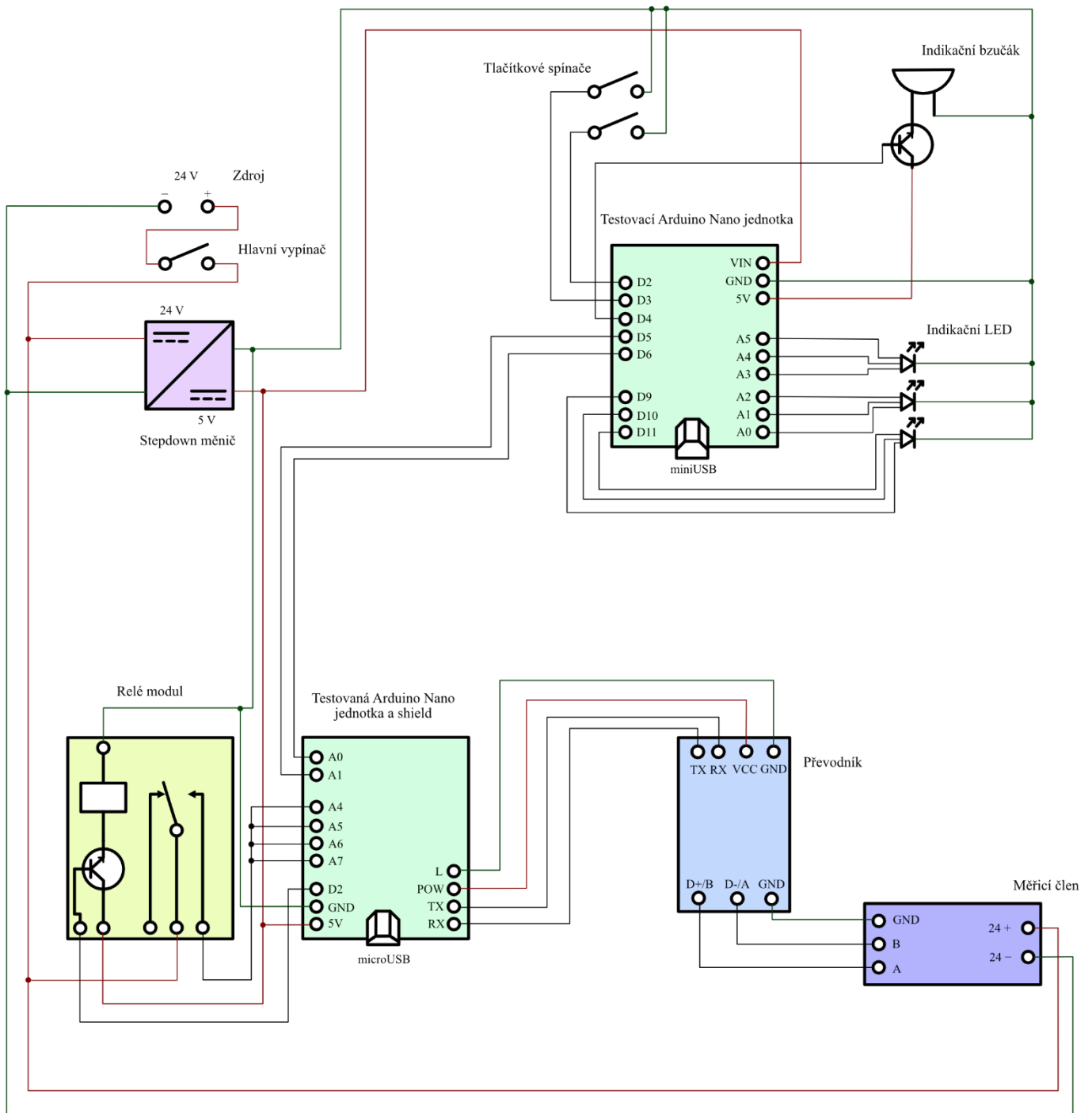
Jednokanálový relé modul slouží pro provedení některých testů, pro komunikaci s Arduino jednotkou používá 5V obvod a při sepnutí vysílá 24 V signál. Bzučák má funkci zpětné vazby při přepínání testů a jejich provádění, stejně jako RGB LED, které zobrazují, který test se provádí a jak test dopadl. Jeden tlačítkový spínač slouží pro změnu testu a druhý spínač pro provedení testu.

Jednotlivé komponenty byly mezi sebou spojovány (obr. 19) dle uvážení, zpravidla pomocí DuPont konektorů a kolíčků, nebo pomocí kabelových dutinek, které se dají zašroubovat do terminálového shieldu od Arduino jednotky.



Obr. 19: Proces zapojování jednotlivých komponent

3.3.1 Schéma zapojení



Obr. 20: Schéma zapojení

3.3.2 Popis zapojení

Do přípravku je přes síťový adaptér přivedeno stejnosměrné napětí o velikosti 24 V. Napětí 24 V je převedeno měničem na stejnosměrné napětí 5 V, které napájí většinu komponent.

Testovací jednotka

Nejdůležitějším článkem přípravku je testovací jednotka Arduino Nano, umístěná v terminálovém shieldu. Z ní je vyvedeno několik pinů, které slouží pro ovládání i komunikaci. Na pin D2 je připojen tlačítkový spínač na spuštění testu, na pin D3 je připojen spínač na změnu módu testu. Dále je na pin D4 připojen bzučák, který mimo tuto digitální komunikaci potřebuje ještě napájení, které je přivedeno z shieldu. Bzučák vydává tóny, a to při změně módu testování, při zapnutí celého přípravku a poté při vyhodnocení testu. Tóny pro vyhodnocení testu by měly intuitivně naznačit, jak test dopadl, avšak výsledek testu je zřejmý především z rozsvícení LED.

Dále jsou na shield připojené tři stavové RGB LED. Každá z nich zobrazuje stav některé komponenty, jedna vyhodnocuje shield, jedna převodník a jedna měřicí člen. Pokud LED svítí bíle, je systém připraven na test dané komponenty, pokud svítí fialově, daná komponenta se v testu nebude testovat, je tedy považována za referenční, čili funkční. Jakmile LED svítí žlutě, probíhá test a po vyhodnocení testu se LED rozsvítí zeleně, pokud byl test úspěšný, nebo červeně, pokud úspěšný nebyl. Tyto LED jsou připojeny vždy na trojici pinů, v tomto případě A0, A1, A2, poté A3,A4,A5 a nakonec D9, D10, D11.

Testované komponenty

Testovaný vlastní speciální shield s Arduino Nano jednotkou se vkládá do přípravku z vrchu tak, aby dosednul na testovací pružinové hroty. Po usazení dojde k propojení několika obvodů. Testovaná jednotka se připojí na napájení a zem. Pro komunikaci testovací jednotky a testované se u testované používá port A0 a A1, na straně testovací jednotky se používají porty D5 a D6.

Dále dojde k zapojení relé, které je ovládáno testovanou jednotkou. Testovaná jednotka ovládá relé přes port D2. Ovládání relé je napájeno z 5 V obvodu a signál přivedený na relé z 24 V obvodu. Testovaná jednotka přijímá 24 V signál z relé na portech A4, A5, A6 a A7, které jsou testovány. Zde je možno přijímat 24 V signál proto, že na testovaném shieldu jsou připojeny na dané porty rezistory, takže i přes to, že celý zbytek shieldu pracuje na napětí 5 V, tak zde je 24 V bezpečné.

Poté je k shieldu ještě připojen převodník. Ten používá piny Rx, Tx a napájení se zemnáním. V převodníku dochází k převedení UART signálu na signál RS-485. Signál je následně poslán dále, a to přes vodiče DataA a DataB do měřicího členu. Měřicí člen je napájený 24 V, čili přímo z adaptéru.

3.4 Programování jednotek

Pro programování Arduino jednotek byl použit program Arduino IDE, neboť je dostatečný a není nutné používat složitější nástroje. Zároveň lze snadno program nahrát na jednotku a přes rozhraní USB sledovat sériovou komunikaci jednotky. Pro testování jednotek musely být napsány dva programy, a to konkrétně program pro testovací jednotku uloženou v přípravku a program pro testovanou jednotku, která se vkládá do testovaného shieldu.

3.4.1 Program testovací jednotky

První program slouží jako firmware testovacího přípravku. Tento program je nahrán na testovací Arduino Nano jednotku, která je uložena v krabici přípravku. Slouží k ovládání přípravku a testování komponent, stejně tak jako k zobrazování informací uživateli.

Po zapnutí testovací jednotky jednotka akusticky signalizuje, že je připravena a následně sleduje tlačítka, zda-li nebyl zahájen test, či nebyl přepnut mód. Jednotka funguje jako stavový automat. Pamatuje si nastavený testovací mód, kdy uživatel ho může přepnout, testovacích módů je pět a postupně rotují. Pokud je stisknut spínač pro začátek testu, jednotka test provede a vyhodnotí.

Tlačítkové spínače se ze svého principu potýkají s problémem zákmitů. Pokud je spínač stisknut, nemusí dojít k okamžitému kontaktu. Kontakt se také na chvíli může přerušit a zároveň kontakt pokaždé trvá jinak dlouhou dobu. Sledování tlačítek zajišťuje, že při stisknutí tlačítka dojde k zaregistrování pouze jednoho stisku, filtruje také zákmity a pokud je tlačítko stisknuto po příliš dlouhou dobu, toto stisknutí zamítne.

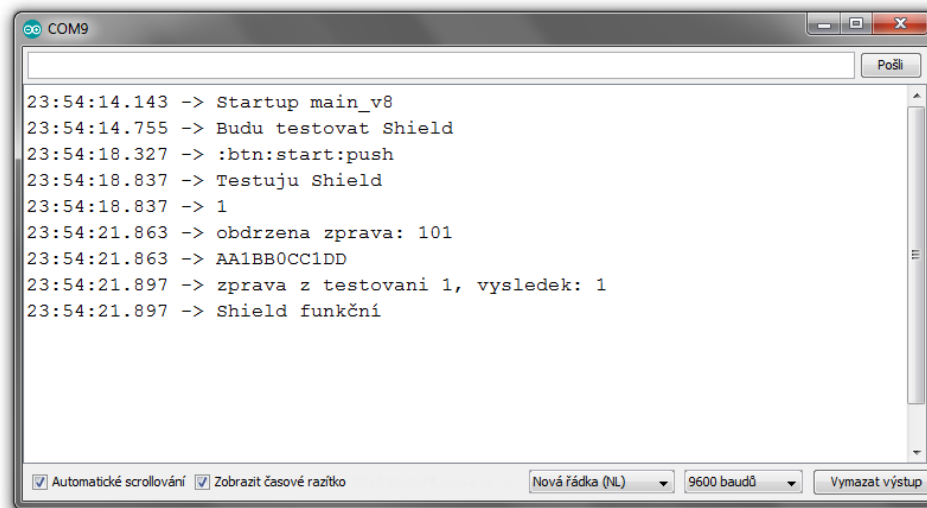
Po stisku tlačítka pro změnu módu jednotka změní barvu stavových diod a vydá tón. Postupně tak jednotka střídá pět testovacích módů:

- 1) V prvním módu se testuje pouze shield, tento test se převodníku a měřicího členu netýká.
- 2) Ve druhém módu se testuje pouze převodník, přičemž musí být osazen referenční funkční shield.
- 3) Ve třetím módu se testuje měřicí člen, přičemž převodník a shield musí být referenční.
- 4) Čtvrtý a pátý mód je pouze kombinací předchozích. Ve čtvrtém módu se testuje celá sestava.
- 5) V pátém módu se testuje shield a měřicí člen.

Pokud je stisknuto tlačítko pro provedení testu, testovací jednotka vyšle příslušnou zprávu do testované jednotky. Poté čeká na přijetí zprávy zpět. Jakmile zprávu obdrží, vyhodnotí ji. Pokud žádná zpráva nepřijde, jednotka to vyhodnotí jako ztrátu zprávy a rozsvítí všechny LED červeně. Pokud přijde poškozená zpráva, jednotka to také vyhodnotí rozsvícením všech LED červeně. Pokud přijde zpráva, která je v pořádku,

program vyhodnotí, že je komponenta v pořádku nebo vadná, na základě informace ve zprávě. Poté rozsvítí danou LED odpovídající barvou, buď zeleně, nebo červeně.

Mimo to lze mít tuto jednotku připojenou přes USB k PC, kdy přes sériovou komunikaci (obr. 21) jednotka hlásí textovým výstupem výsledky testů a změny režimů.



Obr. 21: Sériová komunikace testovací jednotky s PC

3.4.2 Program testované jednotky

Na testovanou jednotku je nahrán dočasný testovací software. Arduino Nano, na kterém je tento program nahrán, lze poté vkládat do testovaných shieldů. Druhou možností je daný program vždy pouze nahrát na Arduino, které je osazeno na daném shieldu. Obě tyto možnosti jsou časově nenáročné, zaberou pár sekund. Testovaná jednotka přijme zprávu od testovací jednotky a vyhodnotí, který z následujících pěti testů má provést:

- 1) V prvním testu se prověřuje u shieldu jeho celková funkčnost, především schopnost komunikovat a konat příkazy. Shield má za úkol přijmout zprávu z testovací jednotky, poté vyslat signál na pin D2, a také má za úkol přečíst vstup na pinech A4, A5, A6, a A7. Pokud je toto úspěšné, zašle zpět testovaná jednotka na testovací jednotku zprávu o úspěšném testu. Pokud toto úspěšné není, zašle chybovou zprávu. Pokud jednotka a shield ani nekomunikují, nezašlou žádnou zprávu. Takto se ověří kompletní funkčnost po všech stránkách.
- 2) Ve druhém testu se ověřuje funkčnost převodníku. Jedná se o nejjednodušší test, při kterém se pouze ověřuje, že informace prochází přes převodník ze shieldu do měřicího členu. Pokud informace projde tam i zpět, tak je test vyhodnocen jako úspěšný. Pokud informace nepřijde, tak je vyhodnocena chyba.
- 3) Ve třetím testu se testuje měřicí člen, u něj je třeba zajistit, že komunikuje se shieldem skrz převodník. V tomto testu je zaslán požadavek na informace z testované jednotky do měřicího členu. Ten má za úkol zpět zaslat přesně

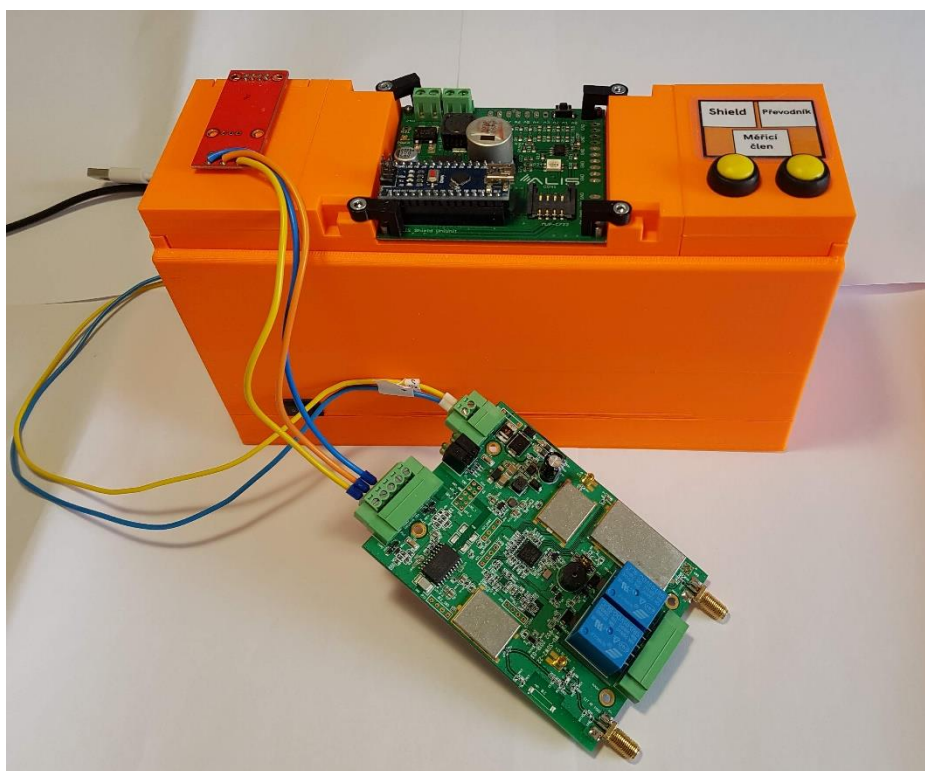
danou informaci o sobě. Pokud tato informace nedojde, nebo přijde poškozená, je test vyhodnocen jako chyba měřícího členu. Pokud informace dorazí v pořádku, je test úspěšný.

- 4) Čtvrtý test kombinuje všechny předchozí testy, jedná se o kompletní test sestavy. Testy provede postupně, a pokud jsou všechny úspěšné, zahlásí úspěch.
- 5) Pátý test je kombinací prvního a třetího testu, je nejpraktičtější, protože převodník je možné si nechat neustále připojený v DuPont konektoru a jen k němu připojovat dvojice shieldu a měřícího členu. Tím se testuje, že právě tyto dvě jednotky mezi sebou správně komunikují.

3.5 Výsledné testování

3.5.1 Ověření přípravku

Před uvedením prototypu přípravku bylo zapotřebí otestovat jeho funkčnost (obr. 22), především pro zajištění bezpečnosti komponent z důvodu použití dvou obvodů s různým napětím a také s ohledem na sériovou komunikaci testované a testovací jednotky. Všechny části obvodů byly proměřeny, aby byl vyloučen zkrat či vadný spoj a všechny rizikové oblasti byly řádně izolovány.



Obr. 22: Otestovaný a funkční přípravek

3.5.2 Systém kontroly řídicích jednotek

Kontrola řídicích jednotek a komponent je jednoduchá natolik, aby ji mohl provádět nekvalifikovaný pracovník. Přípravek pro testování je připojen na síťový adaptér a zapnut centrálním vypínačem. Následně jsou připojeny komponenty, které se budou testovat.

U prvního testu je možné testovat pouze shield, kdy se shield přiloží, nebo přiloží a zaaretuje do přípravku, je zvolen první test a test je spuštěn. Přípravek následně komunikuje s testovanou jednotkou a provede test shieldu, poté odešle výsledek testovací jednotce a ta výsledek vyhodnotí a zobrazí uživateli. Uživatel dostane akustickou zpětnou vazbu a vizuálně se mu zobrazí výsledek pomocí LED (obr. 23). Vadný shield je následně vyřazen z procesu výroby, popřípadě reklamován. Funkční shield lze používat.



Obr. 23: Přípravek připravený na první test

Pro provedení dalších testů je nutné připojit i zbývající komponenty. Pracovník má k dispozici referenční jednotky, které fungují. Referenční jednotky používá v testech číslo 2, 3 a 5. To, že má připojit referenční jednotku, pozná podle fialového podbarvení dané komponenty, naopak jednotka, která má projít testováním má své tlačítko podbarvené bíle. Pracovník poté provádí analogické testy a může vyřazovat vadné komponenty.

3.6 Využití přípravku

Tento systém může využívat kutil, který používá ve velkém množství vlastní shield, který následně upravuje a potřebuje hodně jednotek, které jsou spolehlivé a rychle otestovány nebo drobný podnikatel, který se zabývá vývojem specializovaných desek v malých sériích. Daleko většího uplatnění však toto řešení nachází ve velkých strojírenských a elektrotechnických společnostech. Společnost velmi často pro svou aplikaci zkonstruuje vlastní shield a další komponenty, které si na zakázku nechá ve velkém množství vyrobit. Společnosti je poté dodána velká zásilka komponent, které je

třeba otestovat. Díky přípravku lze komponentu otestovat za pár sekund, což šetří čas i lidské zdroje a finanční náklady. Testování komponent však není důležité jen při příjmu zboží. Ještě důležitější je výstupní kontrola při produkci komponent. Společnosti staví svou pověst především na spolehlivosti svých výrobků a je nežádoucí, aby se k zákazníkům dostaly nefunkční kusy. Přípravek lze použít právě i pro výstupní kontrolu.

V praxi se může změnit tvar či osazení desky. V takovém případě lze pouze vytisknout modifikovaný prostřední díl a lehce změnit testovací software a přípravek může testovat jiné desky. Do budoucna se také může plánovat se stejným tvarem desky, který bude osazen např. na jiných pinech. V takovém případě lze přípravek modifikovat tak, že bude testovat dva či více podobných typů desek, které se v praxi používá. Přípravek se tak těší i velké variabilitě a perspektivě využití do budoucna.

4 ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce bylo navrhnout a sestrojít přípravek, který bude použit pro testování Arduino řídicích jednotek a jejich komponent. Toto téma zahrnuje nutnost znalostí ze strojírenství i elektrotechniky a také programování řídicích jednotek. Základní poznatky nutné pro pochopení vztahů mezi jednotlivými částmi tohoto projektu byly popsány v teoretické části práce. Samotný postup a vyhodnocení realizace je popsáno v praktické části.

V teoretické části je popsána historie desek plošných spojů a jsou představeny některé způsoby testování desek s ohledem na ověření jejich kvality. Práce se zaměřuje na jeden z druhů testování – na testování pomocí přípravku s pružinovými hroty. Základní mechanismus této metody spočívá ve vložení testované desky do přípravku, ve kterém jsou připraveny pružinové hroty. Nejdříve se s deskou vodivě spojí a poté ji otestují. Testovaná a testovací jednotka spolu komunikují prostřednictvím komunikačních protokolů UART, I2C nebo SPI. Ty jsou taktéž popsány a pro účel propojení v přípravku je použito hardwarové propojení UART.

V další kapitole práce popisuje vznik řídicích jednotek Arduino a také některé jejich typy. Pro testování byla vybrána jednotka Arduino Nano, protože je pro něj určen shield, který následně testuje. Arduino Nano je použito také pro testovací jednotku, a to z důvodu existence terminálového shieldu, se kterým se dá dobře pracovat při konstrukci přípravku, zároveň je kompaktní a cenově dostupné. Práce se také zaměřuje na některé druhy Arduino shieldů, což jsou desky, které rozšiřují možnosti Arduino jednotek. Pro testování je vybrán vlastní speciální shield. Tento shield pracuje s řídicí jednotkou Arduino Nano a obsahuje lépe přístupné digitální a analogové piny.

Poslední kapitola teoretické části se zaměřuje na 3D tisk, výběr tiskárny a materiálu pro konstrukci přípravku. FDM 3D tisk byl pro konstrukci prototypu přípravku zvolen především z důvodu snadné dostupnosti a rychlosti vyhotovení prototypu. Právě rapid prototyping je nejdůležitějším využitím 3D tiskáren v současné době. V práci jsou popsány základní druhy 3D tiskáren a z nich je vybrána FDM tiskárna Original Prusa i3 MK2S především proto, že ji vlastním a byla mi tak dostupná po celou dobu, ale také proto, že kvalita jejího tisku je na velmi vysoké úrovni a výtisky z ní lze použít nejen na prototypy, ale i finální výrobky.

Z popsaných materiálů je pro tisk výrobku použito PLA, které je cenově dostupné, tisk z něj je spolehlivý a uživatelsky nenáročný a jeho mechanické vlastnosti jsou pro konstrukci přípravku dostatečné. Zároveň lze do PLA zařezat šrouby pro uchycení jednotlivých dílů k sobě.

V praktické části jsou stanoveny cíle a komponenty, se kterými se dále pracuje. Při konstrukci byly vytvořeny celkem tři iterace, které postupně odstraňují chyby přípravku a zlepšují jeho ergonomii i variabilitu. Ve finální iteraci již přípravek splňuje všechny kladené nároky, navíc je složen z modulární konstrukce, která umožňuje snadno

vyměnit prostřední díl přípravku za jiný, takže je možné drobnou změnou testovat jiné, nebo jinak osazené řídicí jednotky.

Dále jsou popsány komponenty, ze kterých se přípravek skládá, především Arduino Nano jednotka v terminálovém shieldu, Stepdown nastavitelný měnič, relé atp. Tyto komponenty jsou zapojeny dle schématu na str. 47, přičemž popis a funkce zapojení je dále rozepsána jak pro testovací jednotku, tak pro testované komponenty. Pro naprogramování testovací i testované jednotky byl využit program Arduino IDE, celkem bylo naprogramováno pět testů, které testují shield, převodník, měřicí člen a také sestavu jako celek a kombinaci shieldu a měřicího členu. Jednotlivé testy byly podrobně popsány. Mezi testy lze přípravek přepínat, po spuštění testu a otestování přípravku provede vyhodnocení testu a uživateli výsledek signalizuje akusticky i vizuálně.

Na závěr bylo provedeno ověření funkčnosti přípravku. Poté byl přípravek použit pro testování jednotlivých komponent, které bylo úspěšné. Podařilo se navrhnout konstrukci prototypu testovacího přípravku, který byl vyroben pomocí 3D tisku. K přípravku byl vytvořen příslušný firmware a byl navrhnout systém kontroly řídicích jednotek. Celý systém byl zkonstruován, vyzkoušen a shledán funkčním.

Přípravek nachází využití jak pro hobby použití, tak především v profesionální praxi. Průmyslové společnosti mohou přípravkem ověřovat funkčnost výrobků během výstupní kontroly, či při dodání komponent pro další výrobu. Testovací přípravek takto šetří finanční náklady a především čas pracovníků. Zároveň je možné jej snadno modifikovat pro použití jiných desek, a to vytisknutím jiného prostředního dílu, který zapadne do modulární konstrukce.

5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KHANDPUR, Raghbir Singh. *Printed circuit boards: design, fabrication, assembly and testing*. 2006. New York: McGraw-Hill, 2006. ISBN 0-07-146420-4.
- [2] DONALD, Frank. What are the types of PCB testing. *Gadgetronicx* [online]. 2019 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.gadgetronicx.com/pcb-testing-methods/>
- [3] KINGATUA, Amos. PCB Inspection and Testing Techniques. *Medium* [online]. 2019 [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://medium.com/supplyframe-hardware/pcb-inspection-and-testing-techniques-30631a885109>
- [4] Protocol. *Encyclopaedia Britannica* [online]. The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2018 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/protocol-computer-science>
- [5] Sériový přenos dat. *Sériový přenos dat* [online]. Katedra informatiky, FEI, VŠB-TUO [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://www.cs.vsb.cz/grygarek/LAN/sem/sercomm.html>
- [6] Basics of UART Communication. *Circuit Basics* [online]. Circuit Basics [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/>
- [7] MITCHELL, Robin. Common Communication Peripherals on the Arduino: UART, I2C, and SPI. *Maker Pro* [online]. 2018 [cit. 2020-05-30]. Dostupné z: <https://maker.pro/arduino/tutorial/common-communication-peripherals-on-the-arduino-uart-i2c-and-spi>
- [8] Introduction. *Arduino* [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- [9] Story and History of Development of Arduino. *Circuits Today* [online]. Circuits Today [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <http://www.circuitstoday.com/story-and-history-of-development-of-arduino>
- [10] HUGHES, John M. *Arduino: a technical reference: a handbook for technicians, engineers, and makers*. Beijing: O'Reilly, 2016. ISBN 978-149-1921-760.
- [11] Arduino Diecimila. *Arduino* [online]. 2020 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardDiecimila>
- [12] Arduino Uno Rev3. *Arduino* [online]. 2020 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>

- [13] Arduino Uno Rev3. In: *Vokolo* [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.vokolo.cz/arduino-uno-rev3-atmega16u2/>
- [14] Arduino Leonardo. *Arduino* [online]. 2020 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-leonardo-with-headers>
- [15] Arduino Nano. *Arduino* [online]. 2020 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-nano>
- [16] Centipede Shield V2 64-I/O Expander. In: *Tindie* [online]. [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.tindie.com/products/macetech/centipede-shield-v2-64-io-expander/>
- [17] KOUMAR, František. Controllino: open-source PLC kompatibilní s Arduino IDE. *Arduino.cz* [online]. 2015 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://arduino.cz/controllino-open-source-plc-kompatibilni-s-arduino-ide/>
- [18] EVANS, Brian. *Beginning Arduino Programming*. 2011. New York: Springer Science+Business Media, LLC, 2011. ISBN 978-1-4302-3777-8.
- [19] DE BRUIJN, Erik a Jeroen DE JONG. Innovation Lessons From 3-D Printing. *MIT Sloan Management Review* [online]. 2013 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://learning.oreilly.com/library/view/innovation-lessons-from/53863MIT54212/chapter001.html>
- [20] The Types of 3-D Printing. *ALA TechSource* [online]. American Library Association, 2014, (5) [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <https://www.journals.ala.org/index.php/ltr/article/view/4796/5747>
- [21] *Příručka 3D tiskáře*. Verze 3.02. Praha: Prusa Research s.r.o., 2018.
- [22] FRANCE, Anna Kaziunas. *Make: 3D Printing: The Essential Guide to 3D Printers*. Make Community, LLC, 2013. ISBN 1457183544.

6 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1: Oboustranná deska bez pokoveného spojení dírou, překresleno podle [1]
- Obr. 2: Popis částí pružinového hrotu, překresleno podle [1]
- Obr. 3: Detail přípravku s testovanou deskou
- Obr. 4: Arduino Uno Rev3 [13]
- Obr. 5: Arduino Nano
- Obr. 6: Macetech Centipede Shield [16]
- Obr. 7: Specializovaný shield pro Arduino Nano
- Obr. 8: Prostředí programu Arduino IDE
- Obr. 9: Prostředí programu PrusaSlicer
- Obr. 10: Detail bowdenové tiskárny Morkforged Mark Two, lze vidět bílý bowden včetně mechanismu posunování filamentu
- Obr. 11: Vlastní Original Prusa i3 MK2S při tisku krabice přípravku
- Obr. 12: První iterace
- Obr. 13: Druhá iterace
- Obr. 14: Testování druhé iterace bez pružinových hrotů
- Obr. 15: Třetí iterace
- Obr. 16: Díly třetí iterace včetně krabice na přípravek
- Obr. 17: Detail děr se špičkou pro zařezání šroubu.
- Obr. 18: Arduino Nano v terminálovém shieldu
- Obr. 19: Proces zapojování jednotlivých komponent
- Obr. 20: Schéma zapojení
- Obr. 21: Sériová komunikace testovací jednotky s PC
- Obr. 22: Otestovaný a funkční přípravek
- Obr. 23: Přípravek připravený na první test

7 SEZNAM PŘÍLOH

CD-R obsahující následující videa:

1. Systém přikládání shieldu do přípravku a jeho aretace v přípravku (0:39)
2. Zapnutí přípravku a provedení testu shieldu (první test) bez dalších komponent (0:12)
3. Vložení převodníku do DuPont konektoru (0:06)
4. Zapnutí přípravku a provedení všech testů, přičemž je připojen vadný měřicí člen (0:58)