

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická  
Katedra řídicí techniky FEL

## Využití robota LEGO Mindstorms EV3

Návrh robota hrajícího na harmoniku pro propagaci  
FEL

**Martin Šrámek**

Vedoucí: Ing. Martin Hlinovský, Ph.D.  
Obor: Kybernetika a robotika  
Květen 2019



## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Martinovi Hlinovskému, Ph.D. za konzultace a vstřícný přístup.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, 24. května 2019

## Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je návrh a konstrukce robota hrajícího na foukací harmoniku sestaveného ze stavebnice LEGO Mindstorms EV3. Programová část byla vytvořena v programovacím jazyce Python a sestává z části určené pro přípravu not z formátu MIDI a z části, která robota ovládá a podle připravených not tvoří hudbu.

Součástí práce byla také tvorba webu, který obsahuje návody a poznámky popisující konstrukci a obsluhu robota.

**Klíčová slova:** Lego Mindstorms EV3, ev3dev, Python, MIDI, harmonika

**Vedoucí:** Ing. Martin Hlinovský, Ph.D.

## Abstract

Aim of this bachelors thesis is the design and construction of robot playing on harmonica. The harmonica playing robot is assembled from LEGO Mindstorms EV3. Software was programmed using Python and consists of programs used for note preparation from MIDI format and software for controlling the robot itself.

This thesis also includes the making of a web page containing instructions and operation of the robot.

**Keywords:** Lego Mindstorms EV3, ev3dev, Python, MIDI, harmonica

**Title translation:** Usage of the LEGO Mindstorms EV3 — Design of the Harmonica Playing Robot for Promotion of the Faculty



## Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>	<b>5 Závěr</b>	<b>27</b>
<b>2 Softwarové řešení</b>	<b>3</b>	<b>Literatura</b>	<b>29</b>
2.1 Hudební formáty .....	4	<b>Zadání práce</b>	<b>33</b>
2.2 Úprava hudby - MidiEditor .....	5		
2.3 Zpracování hudby - parser.py .....	6		
2.3.1 Python MIDI library .....	6		
2.4 Operační systém ev3dev .....	7		
2.5 Spojování řídicích kostek .....	7		
2.5.1 Daisy chaining .....	8		
2.5.2 Bluetooth - !PyBluez library .	8		
2.6 EV3 programy .....	8		
2.6.1 Master program – server.py ..	8		
2.6.2 Slave program – client.py ...	10		
<b>3 Hardwarové řešení</b>	<b>11</b>		
3.1 Foukací harmonika .....	11		
3.2 Kompresor .....	12		
3.3 Ventilová jednotka .....	14		
3.3.1 Kazety .....	15		
3.3.2 Řídicí kostky a motory .....	17		
3.4 3D tisk .....	18		
3.4.1 Fusion 360 .....	19		
3.5 Rozvody vzduchu .....	19		
3.5.1 Hadice .....	20		
3.5.2 Rozvodná trubice .....	20		
3.5.3 Adaptér na harmoniku .....	22		
<b>4 Webová stránka</b>	<b>25</b>		
4.1 Lego Digital Designer .....	25		

## Obrázky

2.1 Diagram programu . . . . .	3
2.2 MidiEditor screenshot . . . . .	6
3.1 Rozložení tónů harmoniky . . . . .	12
3.2 Set 9641 . . . . .	13
3.3 Kompresor RESUN 100 . . . . .	14
3.4 Ventilová jednotka . . . . .	15
3.5 Škrťící klapka . . . . .	16
3.6 Kazeta . . . . .	16
3.7 LEGO pružiny . . . . .	17
3.8 Motory a řídicí kostka . . . . .	18
3.9 Prusa i3 MK3S . . . . .	19
3.10 Ježek . . . . .	21
3.11 Ježek - tisk . . . . .	21
3.12 Přetlakový ventil . . . . .	22
3.13 Adaptér . . . . .	23
3.14 Adaptér . . . . .	23
3.15 Provizorní adaptér . . . . .	24
4.1 LDD . . . . .	26
5.1 Robot - celý . . . . .	27
5.2 Spektrální analýza . . . . .	28
5.3 Robot - celý, provizorní adaptér . . . . .	28

## Tabulky

3.1 Průtoky otvory . . . . .	12
3.2 Parametry motorů . . . . .	18
3.3 Síly na hadice . . . . .	20

# Kapitola 1

## Úvod

Koncem 19. století nastal rozvoj různých hracích strojků, které pracovaly na nejrůznějších principech, a byly vyráběny v nejrůznějších velikostech. Od malých kapesních, přes stolní skřínky, až po velké orchestriony. Prvním z hracích mechanismů byl točící se válec nebo disk, vyrobený z kovu a opatřený výstupky, které drnkaly na zvonkohru. Hudba byla na tomto válci či disku "naprogramována" právě rozmístěním těchto výstupků a u větších zařízení bylo možné válce nebo disky vyměňovat a strojek tedy mohl hrát i několik melodií. Dalším způsobem záznamu hudby byl děrovaný papír. Tento způsob byl využíván spíše u orchestrionů [1], jejichž úlohou bylo hrát hudbu třeba i po několik hodin. Byl tedy zapotřebí dostatečně dlouhý hudební záznam, který kdyby byl naprogramován například na disku, musel by disk mít průměr několika metrů. Papír bylo možno navinout, nebo složit a tak uspořít místo. Děrovaný papír byl buď protahován pod otočnými háčky, za které dírký tahaly a tím pohybovaly hracím mechanismem, nebo pod papírem byl pomocí měchů vytvářen podtlak a hracím mechanismem pohyboval proud vzduchu pronikající dírkami. Orchestriony obsahovaly různé nástroje. Například se jednalo o píána, varhany, bicí a nebo třeba i housle. Výroba a prodej velkých orchestrionů ustaly se začátkem první světové války, kdy byl veškerý průmysl přeorientován na válečnou výrobu, a po konci války byly orchestriony vystřídány gramofony, pro něž byla jednodušší masová výroba nahrávek.

Zadání této bakalářské práce bylo navrženo v návaznosti na bakalářskou práci "Využití robota LEGO Mindstorms EV3 - návrh robota hrajícího na piano pro propagaci FEL"[2]. Katedra řídicí techniky pod záštitou fakulty elektrotechnické využívá ke své propagaci a propagaci Robosoutěže [3] různé roboty sestavené ze stavebnice LEGO Mindstorms. Existuje několik robotů, kteří hrají na harmoniku [4] [5], ale žádný který by byl zkonstruován ze stavebnice LEGO. Proto by se mohlo jednat o zajímavý unikát. Po vzoru již existujících návrhů byl zvolen systém ventilu pro každý tón a byl zavržen nápad pohybující se harmoniky a jednoho ventilu. Práce je rozdělena na dvě hlavní části. První shrnuje vytvořené programy a použitý software a druhá technické řešení.

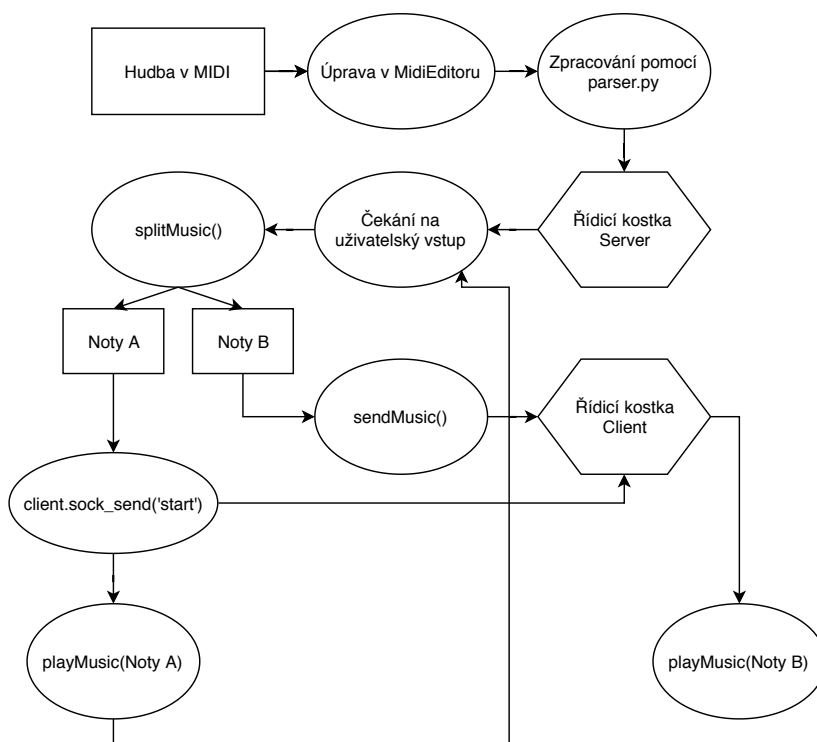


## Kapitola 2

### Softwarové řešení

Programová stránka mé bakalářské práce byla řešena v programovacím jazyce Python. Tento jazyk byl zvolen jednak proto, že existuje možnost v něm přímo programovat řídicí kostku, je velmi uživatelsky přívětivý a byl součástí výuky prvního semestru na programu Kybernetika a robotika FEL ČVUT.

Programy se dělí na dvě skupiny. Součástí té první je příprava not do formy instrukcí pro servomotory a součástí druhé jsou programy, které dané instrukce vykonávají. Celý systém shrnuje následující diagram 2.1.



**Obrázek 2.1:** Vývojový diagram programové části



informaci například o čase, kdy má nota začít, nebo kdy má skončit, s jakou razancí má být zahrána, nebo jestli neobsahuje nějaký další prvek, například vibrato. Takovéto události se nazývají kanálové. Každá kanálová událost náleží konkrétnímu kanálu, na výběr je jich celkem šestnáct. Jeden kanál obsahuje jednu melodickou linku a odpovídá jednomu hudebnímu nástroji nebo třeba sboru. Druhým typem jsou události systémové. Systémové události nesou informace o celé skladbě nebo o jednotlivých kanálech. Může se jednat o definice nástrojů, definice klíče, změny tempa nebo třeba transpozice [9]. Právě kvůli pevnému řádu v notaci MIDI, širokému výběru hudby a zejména její snadné editaci, viz 2.2, byl formát MIDI zvolen jako vstupní pro robota hrajícího na harmoniku.

```
midi.Pattern(format=1, resolution=220, tracks=\\)
midi.TimeSignatureEvent(tick=0, data=[4, 2, 24, 8])
midi.KeySignatureEvent(tick=0, data=[0, 0])
midi.ControlChangeEvent(tick=0, channel=0, data=[91, 58])
midi.ControlChangeEvent(tick=0, channel=0, data=[10, 69])
midi.ControlChangeEvent(tick=0, channel=0, data=[0, 0])
midi.ControlChangeEvent(tick=0, channel=0, data=[32, 0])
midi.ProgramChangeEvent(tick=0, channel=0, data=[24])
midi.NoteOnEvent(tick=0, channel=0, data=[64, 72])
midi.NoteOnEvent(tick=0, channel=0, data=[55, 70])
midi.NoteOffEvent(tick=231, channel=0, data=[64, 0])
midi.NoteOnEvent(tick=25, channel=0, data=[62, 72])
```

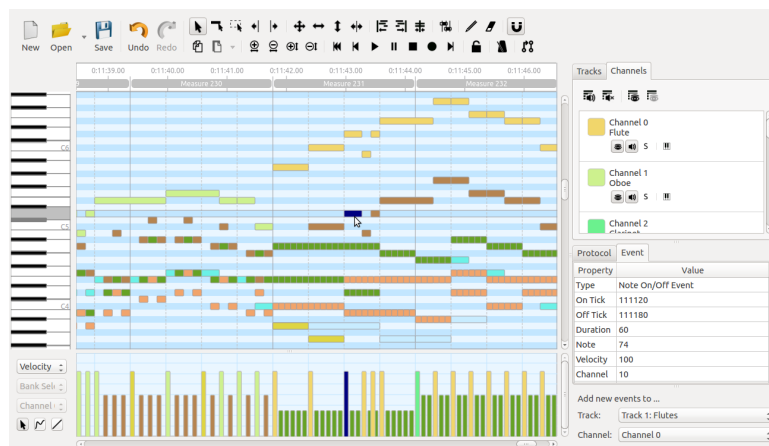
**Listing 2.2:** Hlavička a prvních pár tónů písničky Twinkle Twinkle Little Star

## 2.2 Úprava hudby - MidiEditor

Protože konstrukce robota značně omezuje možnosti reprodukce hudby, je prvním krokem příprava zvoleného souboru ke zpracování. K tomu byl zvolen program MidiEditor, který je volně dostupný. Reprezentuje hudbu jako v čase rozmístěné tóny tvořené barevnými obdélníčky 2.2. Vodorovná osa reprezentuje čas a svislá výšku tónu. V programu je možné modifikovat všechny parametry MIDI souboru nebo založit soubor nový a tvořit vlastní hudbu.

Pro potřeby robota byly využity zejména následující funkcionality. Posun not v čase, neboť z technického hlediska je nevhodné, aby se noty překrývaly. Jedna nota musí nejdříve skončit a druhá následně může začít. Odstranění některých kanálů - například kanál obsahující bicí či jiné doprovodné nástroje. U rozsáhlejších skladeb je tato redukce kanálů esenciální, neboť robot dokáže hrát pouze dva až tři tóny naráz. Je tedy zapotřebí přesunout všechny části hlavní melodické linky do jednoho kanálu a doprovodné tóny odstranit. Jako poslední je třeba upravit tempo. Robot dokáže hrát jen omezenou

rychlostí a hudba se tomu musí přizpůsobit. Tempo se může měnit globálně pro celou skladbu, nebo jen pro její části, pokud to nebude působit rušivě. Žádná z těchto úprav se nedá snadno automatizovat a bylo tedy nutné každou skladbu "ušít" robotovi na míru.



Obrázek 2.2: Ukázka programu MidiEditor

## 2.3 Zpracování hudby - parser.py

Program parser.py je dalším článkem v přípravě hudby. Po načtení MIDI souboru zavolá funkci `mididump()` z knihovny `!PyBluez 2.5.2`, která vrátí objekt se všemi událostmi obsaženými v daném MIDI souboru. Program parser.py následně vyfiltruje události důležité pro produkci hudby a vybere z nich důležité hodnoty. Například událost, která oznamuje začátek noty, obsahuje informaci o čase, kdy nota začíná, o kterou notu se jedná, a s jakou intenzitou má být nota zahrána. Protože robot neovládá dynamiku, je informace o intenzitě zahozena. Program má v sobě uložen seznam not, které dokáže harmonika zahrát a v případě, že zpracovávaná hudba obsahuje noty, které nejsou na harmonice, upozorní na to chybovou hláškou. Následně je možné transponovat notu o oktávu, nebo transponovat celou skladbu. Produktem je tedy textový soubor, jenž má na každém řádku čtyři čísla: čas začátku noty v milisekundách, kanál, číslo noty a 1 či 0 informující o začátku, nebo konci noty. Protože je robot řízen dvěma kostkami, kde každá ovládá 8 tónů, tak na závěr program parser.py rozdělí hudbu na dvě části korespondující k tónům každé z kostek.

### 2.3.1 Python MIDI library

Protože Python nenabízí v základu žádný snadný způsob práce s MIDI soubory, vytvořil Uživatel, který si říká Vishnubob, framework Python MIDI



Library, který obsahuje velké množství funkcí vhodných pro tvorbu, úpravu, zpracování a přehrávání hudby v MIDI [10].

Pro svou bakalářskou práci jsem využil pouze funkci `mididump.py`, která vypíše kompletní obsah MIDI souboru jako objekt. Tento objekt je dále zpracováván programem `parser.py` 2.3.

## 2.4 Operační systém ev3dev

Ke stavebnici LEGO Mindstorms je výrobcem dodáván grafický programovací software, který funguje na principu spojování funkčních bloků. Práce v něm je sice snadná, avšak složitější programy jsou v něm velmi rozsáhlé a nepřehledné. Pro tvorbu pokročilejších programů je vhodné využít jeden z několika vyšších programovacích jazyků (Java, C, Python, ...). Tyto jazyky bohužel nejsou v základu řídicí kostkou podporovány, a proto skupiny nadšenců pomocí reverzního inženýrství vytvořili různé operační systémy, které dovolují spouštění programů v těchto jazycích.

Pro Python je vhodný operační systém `ev3dev`, založený na Linuxovém jádře, postavený na distribuci Debian. Je kompatibilní se řídicími kostkami EV3 a také s řídicí jednotkou BrickPi [11] vyvinutou na desce Raspberry Pi. Pro Python je k dispozici knihovna podporující přístup k perifériím série LEGO Mindstorms. Právě díky podpoře vyššího programovacího jazyka, má uživatel možnost na platformě `ev3dev` využívat všechny dostupné knihovny pro tento jazyk. Je možné bez problému číst a zapisovat do souboru, komunikovat přes bluetooth 2.5.2, využívat vlákna a mnoho dalšího, což originální firmware nenabízí. Obdobné výhody má i samotný `ev3dev`. Protože se jedná o odvozeninu operačního systému Debian, lze na něj instalovat programy, které mohou uživateli umožnit připojení sofistikovanějších senzorů a periférií (kamery, klávesnice, Wi-Fi dongel, ...). Pro instalaci takového operačního systému není potřeba přepisovat originální firmware řídicí kostky. Stačí vypálit obraz systému na SD kartu, tu následně vložit do kostky a kostku zapnout. Ta automaticky detekuje dostupný systém a nabojuje z SD karty. V případě, že chce uživatel obnovit originální firmware, stačí z vypnuté kostky vyjmout SD kartu a vše je v původním stavu.

## 2.5 Spojování řídicích kostek

Jedinou možností, jak ovládat více servomotorů, je spojení více řídicích kostek. Pro řízení robota bylo využito dvou kostek. Způsobů spojení je hned několik. Zvažováno bylo kabelové spojení a bezdrátové spojení přes bluetooth. Existuje také možnost komunikace přes Wi-Fi, ta ale vyžaduje připojení externího USB Wi-Fi dongelu a pracuje v 2,4GHz pásmu, které bývá často zarušené.



```

def playMusic(music):
    i = 0
    startTime = int(round(time.time()*1000))
    while music[i] != 0:
        actTime = int(round(time.time()*1000))
        if music[i][0] <= actTime-startTime and
            music[i][3] == 1:
            noteON(music[i][2])
            i+=1
        if music[i][0] <= actTime-startTime and
            music[i][3] == 0:
            noteOFF(music[i][2])
            i+=1
    return 0

```

**Listing 2.3:** Hlavní tělo funkce playMusic()

Protože každý servomotor dokáže obsluhovat dvě noty, bylo zapotřebí dát do souvislosti port, na který je tento servomotor připojen, notu kterou ovládá a směr jeho otáčení. Proto je na začátku programu deklarována proměnná `notes` typu `dict`, která obsahuje proměnné typu `tuple`, v nichž je na první pozici označení portu a na druhé pozici označení směru otáčení. Key k proměnné `dict` označuje notu v indexu MIDI. Jeden tón je popsán například takto 2.6.1. Proměnná typu `dict` označuje slovník, který dává do souvislosti klíč, tedy `key`, a nějakou hodnotu. Tou hodnotou je v tomto případě `tuple` (množina), která se chová jako pole neměnné délky obsahující neměnné prvky.

```

notes = {
64: ('outA', 1)
}

```

**Listing 2.4:** Tón C (MIDI index 64) je ovládán servomotorem na portu A otáčením v kladném směru

Funkce `playMusic()` bere instrukce, které jsou předzpracované programem `parser.py 2.3`, a s využitím funkcí `noteON()`, `noteOFF()` dává pokyny servomotorům, kdy mají otvírat a zavírat ventily. Funkce si po svém zavolání načte systémový čas, od kterého ve svém běhu odečítá aktuální systémový čas. Tím dostává počet milisekund, které uběhly od jejího zavolání. Pokud je tento čas vyšší než čas noty, která čeká na zahrání, je vydán pokyn a tato nota je zahrána. Takto cyklus pokračuje až do doby, kdy na řadu přijde prázdný příkaz, čímž se funkce ukončí.

## ■ 2.6.2 Slave program – client.py

Program, který běží na druhé řídicí kostce, je velmi podobný programu server.py. Začne se inicializací displaye a navázáním komunikace s hlavní kostkou. Dále se pokračuje do smyčky, kde vyčkává na příchozí noty. Po přijetí not a odeslání potvrzení se čeká na příchod pokynu 'start'. Pak volá výše zmíněnou funkci playMusic(), která začne vykonávat přijaté noty. Po skončení hudby, nebo po přijetí zprávy o uživatelském přerušení, se program vrací do vyčkávací smyčky a je připraven na přijetí dalších not.

Na začátku programu je také analogicky deklarována proměnná notes, stejně jako v programu server.py 2.6.1. Program client.py neumí přijímat žádný uživatelský vstup. Pouze vypisuje na display informativní sdělení například o připojení. V budoucnu by mohly být na tomto displayi zobrazovány tématické obrázky k písním, nebo třeba slova písně.

## Kapitola 3

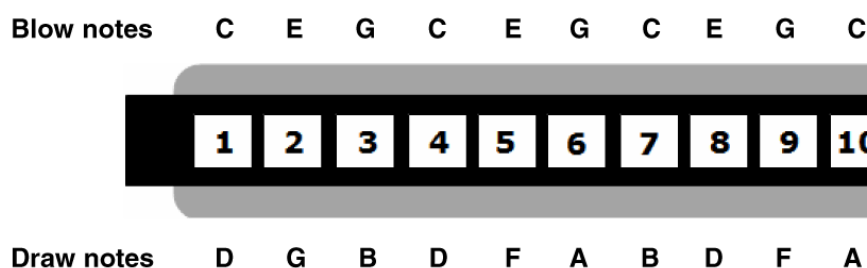
### Hardwarové řešení

Mechanická kompozice robota sestává z několika částí. Jedná se o kompresor, ventilovou jednotku s řídicími kostkami, rozvody vzduchu a foukací harmoniku. Snahou bylo maximální využití stavebnice LEGO Mindstorms, což se podařilo pouze v případě ventilové jednotky. Ostatní komponenty byly nahrazeny buď již hotovými výrobky nebo díly vyrobenými metodou 3D tisku 3.4.

#### 3.1 Foukací harmonika

Foukací harmonika se řadí do skupiny malých dechových hudebních nástrojů. Zvuk je tvořen foukáním či nasáváním vzduchu přes tenké plechové jazýčky různé délky. Čím delší a mohutnější jazýček je, tím hlubší tón vzniká. Vzduch je směřován k jazýčkům pomocí malých otvorů na čele harmoniky [14]. Při nasáváním vzduchu z otvoru vzniká jiný tón, než který by vznikal při foukání do toho stejného otvoru. Tento fakt způsobuje zajímavý technologický oříšek. Tedy jak pomocí kompresoru odsávat vzduch z otvoru harmoniky. Tato problematika bude hlouběji rozvedena v podkapitole 3.5.3.

Existuje několik typů foukacích harmonik. Existují diatonické, chromatické nebo například akordové akordiky. Pro účely mé bakalářské práce byla zvolena diatonická harmonika. Jejím základem je diatonická stupnice sestávající ze sedmi tónů s intervalem celého tónu nebo půltónu mezi každými dvěma sousedními stupni [15]. Každá diatonická harmonika je laděna do určité tóniny. Použité harmoniky jsou laděny do tónin C, D a E dur, neboť pokryjí tóny většiny skladeb a popřípadě lze hudbu transponovat. Transponování je proces, kdy se všechny noty posunou o stejný počet tónů či půltónů výš a nebo níž. Problémem je, že ne každá skladba po transponování zní přijatelně. Většina skladeb složených v durových tóninách zní přirozeně i v C dur. V obrázku 3.1 je vidět rozložení tónů při foukání i nasávání na očíslovaných otvorech.



**Obrázek 3.1:** Rozložení tónů na diatonické harmonice laděné do C dur

Důležitým parametrem pro výběr kompresoru bylo množství vzduchu potřebné k rozeznění tónů. Tato informace je na internetu téměř nedostupná a muselo tedy proběhnout měření přímo na harmonice. Byl měřen nominální a optimální průtok vzduchu potřebný k rozvibrování jazýčku. Měření bylo prováděno horkovzdušnou páječkou i-CON VARIO 2 [16], která umožňuje nastavení průtoku vzduchu v rozmezí 2 - 20 l/min a hodnotu zobrazuje s přesností na jedno desetinné místo. Důležitá vlastnost této páječky je možnost nastavit teplotu nejnižší na 50 °C, čímž mohlo být zabráněno poškození harmoniky horkým vzduchem. V tabulce 3.1 jsou naměřené hodnoty.

Otvor č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nominální průtok [l/min]	9.1	7.8	5.5	11.0	10.8	12.1	11.2	11.4	11.2	15.2
Optimální průtok [l/min]	16.1	16.3	16.2	16.0	16.1	16.2	18.0	17.9	18.5	19.0

**Tabulka 3.1:** Průtoky jednotlivými otvory nutnými k rozeznění odpovídajících tónů

Z tabulky 3.1 je vidět, že vyšší tón - otvor s vyšší hodnotou - potřebuje k rozeznění mnohem větší průtok vzduchu, což se promítlo na výběru kompresoru.

## 3.2 Kompresor

V prvotní snaze o co největší možnou integraci stavebnice LEGO do konstrukce robota, byly zvažovány dílky pneumatické stavebnice s číslem 9641 [17] ze série LEGO education. Série cílí na vzdělávání dětí nejrůznějších věkových kategorií ve všemožných odvětvích vědy, technologií i matematiky [18]. Snaží se o učení inspirující, efektivní a zábavnou formou.



**Obrázek 3.2:** Pneumatické systémy - doplňková souprava

Set 9641 z obrázku 3.2 obsahuje pneumatické vedení, rezervoár, ventily, manometr a také kompresorový píst umožňující motorový pohon. Po vyzkoušení různých možností tlakování jsem došel k závěru, že toto řešení není schopné vyvinout dostatečný tlak a tedy ani průtok nutný k rozeznění harmoniky. Po překročení tlaku vyššího než 100 kPa začíná manžeta kompresorového pístu podfukovat a píst přestává efektivně pracovat. Také malý vnitřní průměr hadiček, který činí pouhý jeden milimetr, je zcela nedostačující. Tyto nedostatky by se sice daly kompenzovat použitím hadiček s větším průřezem a sério-paralelním zapojením více pístů, ale celková hlučnost tohoto zařízení v chodu by jistě přehlušila zvuk hudby, nemluvě o nestálosti tlaku a neplynulém proudění vzduchu.

Bylo tedy rozhodnuto, že bude použit kompresor. Na trhu je dostupný široký výběr kompresorů využívajících různých technologií [19]. Pro pohon robota byly zvažovány dva typy.

První variantou byl klasický pístový s tlakovou nádrží. Pístové kompresory obecně patří k levnějším a dostupnějším kompresorům, avšak také jsou velmi hlučné a průtok vzduchu je nestálý. Bylo by tedy nutné před každou skladbou natlakovat nádrž a přes tlakový ventil pomalu pouštět do systému vzduch. V případě nesprávné manipulace s ventilem by bylo možné pustit do systému příliš vysoký tlak, který by mohl poškodit rozvodný systém nebo samotné harmoniky.

Druhou variantou byl kompresor membránový. Ten vytváří tlak pomocí pohybu několika membrán, které jsou rozvíbřovány elektromagnetickým systémem. Takový kompresor tedy neobsahuje žádné třecí plochy, na kterých by docházelo k opotřebení a nepotřebuje ani žádné mazání. Vzduch z něj

vycházející má konstantní tlak a neobsahuje kapičky oleje, které by mohly ulpívat na jazýčcích harmonik a zanášet je tím. Aby robot mohl hrát několik tónů naráz, musí být kompresor schopen dodat dostatečný průtok. Po zvážení možných ztrát na pneumatickém vedení byl zvolen kompresor RESUN LP 100 o příkonu 100 W, výkonu 140 l/min a tlaku 46 kPa. Velkou výhodou tohoto kompresoru je nízká hlučnost, pouhých 38 dB. Po zapojení do rozvodů vzduchu vydává kompresor jen lehké šustění membrán. K nízké hlučnosti přispívá jak samotná membránová technologie, tak také masivní dvojité tělo z litého hliníku. To se však také podepsalo na jeho hmotnosti, která činí 9.4 kg a kromě ceny zařízení se jedná o jedinou nevýhodu. Kompresor bohužel nepodporuje jakoukoliv formu regulace výkonu a opatření řešící tuto problematiku bude diskutováno v kapitole 3.5.2.

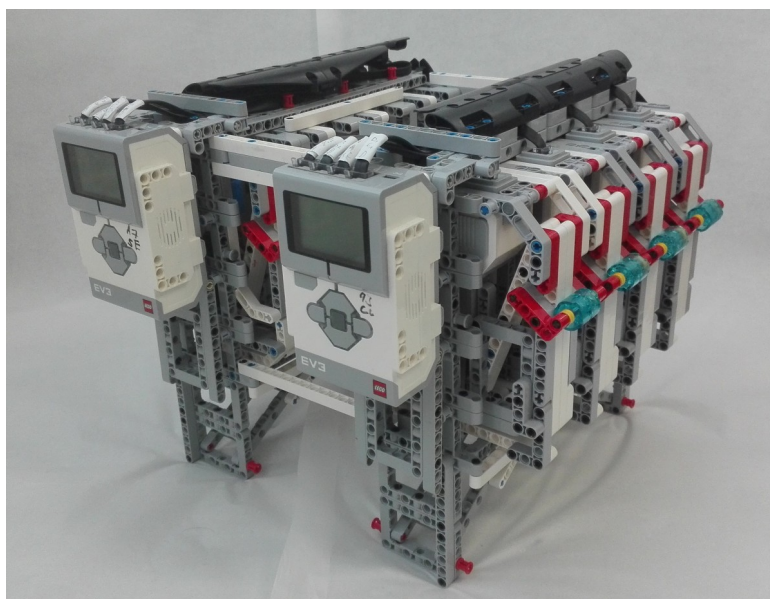


**Obrázek 3.3:** Membránový kompresor RESUN LP-100

### 3.3 Ventilová jednotka

Hlavním tělem robota je ventilová jednotka. Skládá se z osmi ventilových kazet, dvou řídicích kostek a rozvodné trubice. Byl kladen důraz na robustnost této jednotky, aby při transportu robota nedošlo k poškození jemnějších součástí. řídicí kostky jsou upevněny na naklápěcích mechanismech - ať už obsluha robota sedí či stojí, může mít ovládací display vždy naklopen tak, aby byl dobře čitelný.



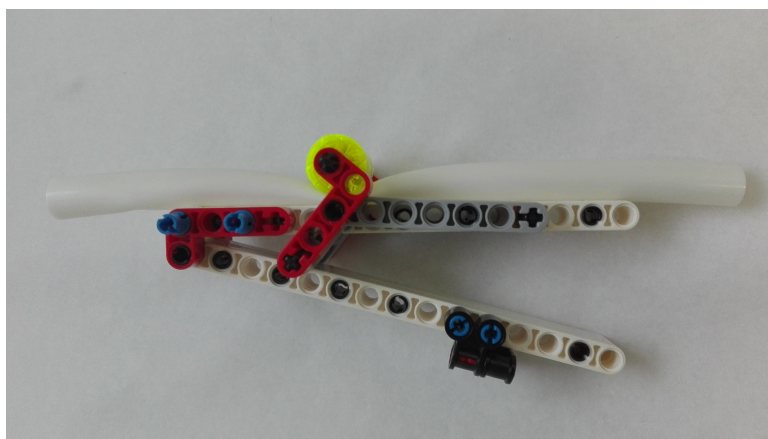


**Obrázek 3.4:** Ventilová jednotka s řídicími kostkami

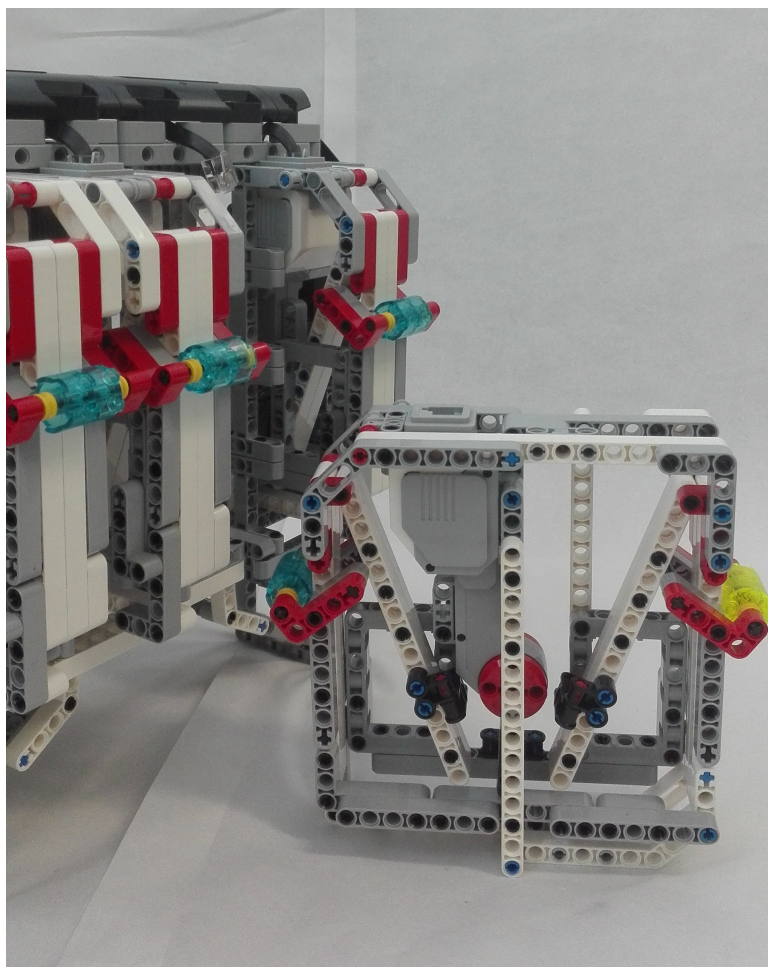
### ■ 3.3.1 Kazety

Nejdůležitějšími komponenty jsou bezesporu ventilové kazety. Jejich úkolem je podle pokynů přicházejících od řídicích kostek, pouštět vzduch do harmonik a tím tvořit hudbu.

Principem regulace vzduchu proudícího k harmonice je zaškrcování hadic. Kazeta je tvořena dvojicí škrťacích klapek 3.5, které zmáčknou hadici a zamezí tak toku vzduchu. Pokud má být hrán tón, patřičná škrťací klapka je rozevřena servomotorem a vzduch může volně proudit. V jedné kazetě jsou proti sobě zrcadlově uloženy dvě škrťací klapky ovládané jedním servomotorem 3.6. Jedna kazeta je tedy schopna ovládat dva tóny, ale v jeden okamžik dokáže hrát jen jeden. Tento ústupek byl zapříčiněn jak nedostatkem motorů a řídicích jednotek nutných k jejich ovládní, tak i prostorovým uspořádáním. Robot je složen z osmi takovýchto kazet, dokáže tedy zahrát šestnáct tónů.



**Obrázek 3.5:** Škrtící klapka se zaškrcenou hadicí



**Obrázek 3.6:** Škrtící kazeta, která obsahuje dvě škrtící klapky a servomotor, stojící vedle ventilové jednotky

Servomotor otáčí zdvihací páčkou vždy o  $70^\circ$  buď v kladném nebo záporném směru podle toho, jakou notu kazeta hraje. Přítlak na hadici je značný a žádná pružná LEGO součástka ho nedokáže spolehlivě vyvinout. Byly testovány originální silikonové LEGO převodové gumičky i pružinové tlumiče. Jako pružný element se osvědčilo zahnuté rameno 1x9, na jehož konci je připevněn váleček pod nějž je umístěna hadice. Aby byl servomotor schopný překonat takovou sílu, byla ke klapce připevněna jednozvratná páka, která sníží potřebnou sílu na čtvrtinu na úkor dráhy, kterou motor musí urazit. To se bohužel negativně projevilo na maximální možné rychlosti hudby.



**Obrázek 3.7:** Silikonová převodová gumička, tlumič se silnou pružinou a zahnuté rameno 1x9

Protože na zaškrcení hadice je potřeba nemalá síla, musí být konstrukce kazety vcelku robustní, což se podepsalo na jejích rozměrech. U dřívějších prototypů se vyskytovalo prohýbání a kazeta musela být značně vyztužena.

### ■ 3.3.2 Řídící kostky a motory

Mozkem série LEGO Mindstorms je řídicí kostka. V této době je na trhu již třetí generace s označením EV3, která byla vydána v roce 2013. Jejím předchůdcem byla řada NXT, se kterou EV3 zachovává zpětnou kompatibilitu. EV3 disponuje procesorem TI Sitara AM1808 300 MHz, 16 MB vnitřní paměti a 64 MB paměti RAM. Nabízí také konektivitu přes USB, Bluetooth a WiFi. Vnitřní paměť je možné rozšířit pomocí microSD karty [20]. Kostka disponuje čtyřmi výstupními porty pro připojení motorů, čtyřmi vstupními porty pro připojení senzorů, LCD displayem o rozlišení 178 x 128, šesti tlačítky, jedním vstupním a jedním výstupním USB portem, modulem bluetooth a reproduktorem.

S řadou EV3 se objevil i nový druh servomotoru. Jedná se střední servomotor, který oproti velkému servomotoru disponuje menším kroutivým momentem, avšak má mnohem lepší zrychlení. Protože motor musí pomocí 5cm dlouhého ramene vyvinout sílu 62 N, potřebuje kroutivý moment alespoň 12,4 N/cm.

	Velký motor	Střední motor
Kroutivý moment na volno [N/cm]	20	8
Kroutivý moment v zastavení [N/cm]	40	12
Rychlost [ot/min]	160-170	240-250

**Tabulka 3.2:** Srovnání středního a velkého servomotoru z řady EV3 [21] [22]

Jak je vidět z tabulky 3.2, ovládání ventilu by bylo na hranici technických možností středního servomotoru. Bylo experimentálně ověřeno, že bez změny konstrukce ventilu, není schopen střední motor dostatečně ventil otevřít. Byl proto zvolen servomotor velký, i za cenu nižšího zrychlení, a tedy pomalejšího tempa hudby.



**Obrázek 3.8:** Velký servomotor, střední servomotor a řídicí kostka EV3

## 3.4 3D tisk

Z důvodu nerealizovatelnosti tlakových rozvodů ze stavebnice LEGO bylo přikročeno k výrobě takovýchto dílů metodou 3D tisku. K tisku byla využita tiskárna Prusa i3 MK3S [23], která je k dispozici obyvatelům kolejí Strahov v rámci projektu 3D tisk Silicon Hill [24]. Použitým materiálem je PLA, tedy druh biologicky rozložitelného polyesteru, který disponuje dobrými mechanickými vlastnostmi a je snadno obrobitelný [25]. Díly vyrobené touto metodou nejsou primárně vhodné pro použití v tlakových aplikacích, ale vzhledem k deklarovanému tlaku 46 kPa, který je schopen kompresor dodat, se není potřeba obávat roztržení některé ze součástí.



**Obrázek 3.9:** Tiskárna Prusa i3 MK3S

3D tisk skýtá jistá omezení. Tím nejpodstatnějším je nemožnost tisknout přesahy nad volný prostor. Takovéto části je nutno opatřit podporami, které se z dokončeného výrobku dají snadno odlomit. Při modelování je snahou minimalizace nutnosti podpor, neboť se jedná o vyhozený materiál, který po odlomení nemá žádné další využití a také jejich tisk prodlužuje čas nutný k dokončení výrobku. Dalším omezením jsou rozměry tiskového prostoru. Ty v případě tiskárny Prusa i3 MK3S činí 25 x 21 x 20 cm, což bylo pro účely této bakalářské práce více než dostačující.

### ■ 3.4.1 Fusion 360

Všechny díly vytvořené tímto způsobem byly modelovány pomocí programu Fusion 360 od firmy Autodesk, pro který nám škola poskytuje studentskou licenci. Program Fusion 360 je CAD software určený pro snadnou tvorbu 3D modelů a jejich další zpracování. Podporuje též propojení s cloudem, na který jednak ukládá vytvořené projekty a také přesměrovává část výpočtů, čímž ulevuje uživateli počítači [26].

## ■ 3.5 Rozvody vzduchu

Rozvodný systém, začínaje u kompresoru a konče adaptérem harmonik, je nedílnou součástí robota. Zajišťuje spolehlivou a rovnoměrnou distribuci tlakového vzduchu k harmonice.



### 3.5.1 Hadice

Na robotovu byly použity dva typy hadic. První typ přivádí vzduch od kompresoru do rozvodné trubice, odkud je dále distribuován druhým typem hadic.

Na hadici prvního typu nebyly kladeny žádné speciální nároky, snad jen dostatečný vnitřní průměr, aby docházelo k co nejmenším ztrátám tlaku. Byla zakoupena zahradní hadice s vnitřním průměrem 25 mm v délce 1,5 m. Výsledná konfigurace robotu počítá s umístěním kompresoru na zemi z důvodu redukce hlučnosti, a s robotem hrajícím na stole.

Na druhý typ hadic byly kladeny vyšší nároky. Hadice musí být dobře ohebná, aby dokázala kopírovat tvar robota, musí mít dostatečně pevnou stěnu, aby se v těsnějším ohybu nelámala a nepřerušovala tím tok vzduchu, ale zároveň musí být správně měkká, aby mohlo dojít k jejímu zaškrčení ventilem viz kapitola 3.3.1. Posuzováno bylo několik typů hadic s různými průřezy, tloušťkou stěny a z různých materiálů. Měřeným parametrem byla síla potřebná k úplnému přerušení toku vzduchu, což shrnuje tabulka 3.3.

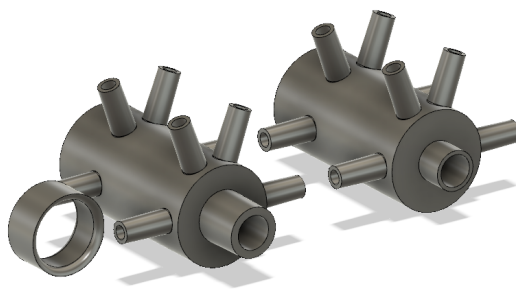
Materiál	Vnitřní průměr [mm]	Tloušťka stěny [mm]	Síla [N]
Silikon	4,0	1,5	14,3
Silikon	5,5	1,5	10,5
Silikon	6,0	1,0	7,2
Silikon	12,0	1,0	1,5
Tygon	4,5	0,7	11,5
PVC	2,0	0,5	18,0
Pryž	4,0	1,5	21,4

**Tabulka 3.3:** Síly potřebné k zaškrčení různých typů hadic

Většina typů hadic ani vzdáleně nesplňuje požadované nároky. V úvahu připadala pouze 12 mm silná bílá silikonová hadice, což bylo úspěšně otestováno na ventilové kazetě. Celková délka hadic činí 6,6 metru a je rozdělena na šestnáct dílů, pro každou řízenou díru jeden.

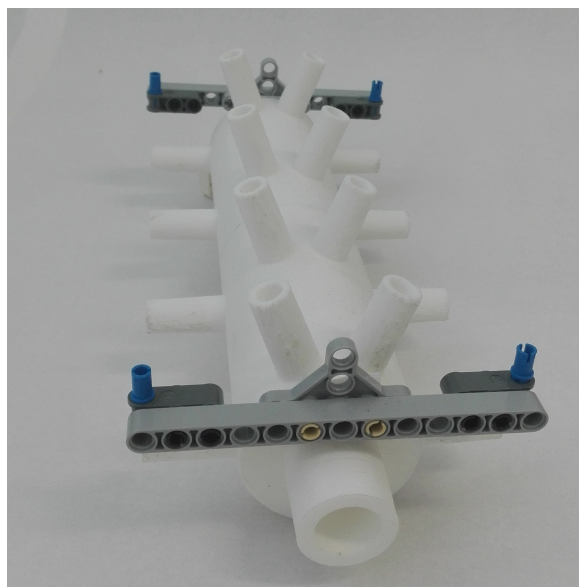
### 3.5.2 Rozvodná trubice

Spojovacím článkem mezi oběma druhy hadic je rozvodná trubice pracovně nazvaná "ježek". Slouží k rovnoměrné distribuci vzduchu pro všechny tóny harmonik a k připojení přetlakového ventilu 3.5.2.



**Obrázek 3.10:** Poloviny rozvodné trubice k tisku a spojovací kroužek - 3D model

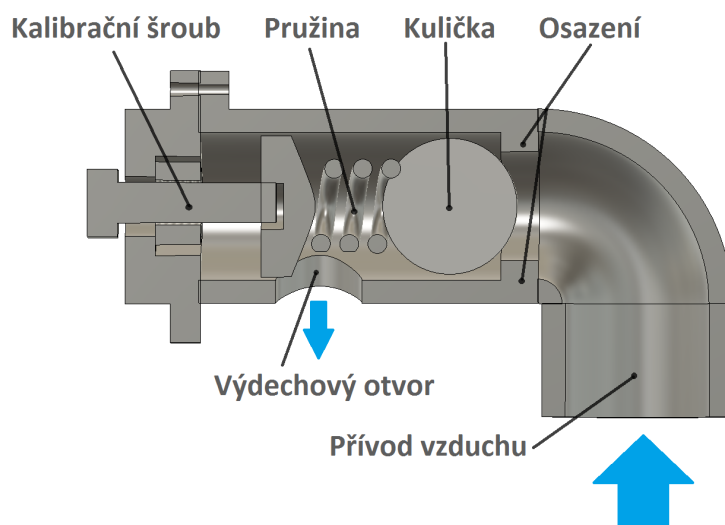
Jedná se o 20 cm dlouhou trubici s šestnácti násadkami pro hadice. Násadky jsou natočeny symetricky v úhlech  $20^\circ$  a  $90^\circ$  od svislice. Je tak učiněno za účelem co nejmenšího lámání hadic vedoucích do ventilové jednotky. Dalšími prvky rozvodné trubice jsou násadky pro připojení hadice od kompresoru a pro připojení přetlakového ventilu. Trubice musela být rozdělena na dvě poloviny, neboť svými rozměry přesahovala tiskový prostor 3D tiskárny a musela být následně slepena 3.10.



**Obrázek 3.11:** Rozvodná trubice s připevněnými LEGO dílky

### ■ Přetlakový ventil

Kvůli výše zmíněné nedostupnosti regulovatelných membránových kompresorů o dostatečném výkonu byl navržen přetlakový ventil, který v případě potřeby upustí přebytečný vzduch a zabrání tak poškození některé z částí systému.



**Obrázek 3.12:** Přetlakový ventil - podélný řez

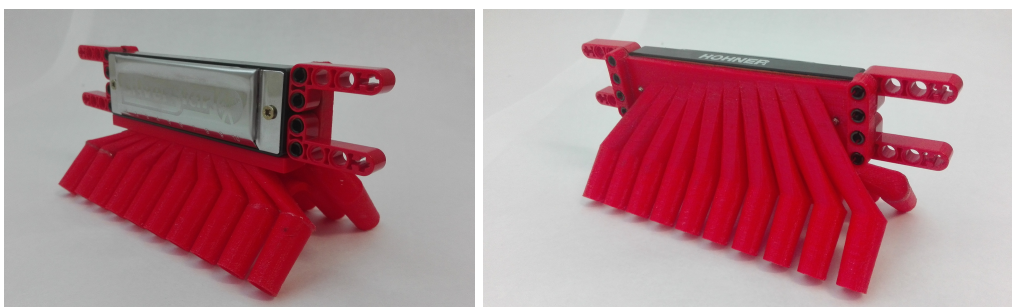
Byl zvolen design nastavitelného vratného pružinového ventilu s přitlačnou kuličkou. Kulička je přitlačována na osazení dna ventilu pomocí pružiny, jejíž přitlak je nastaven šroubem zvenčí. V případě překročení nastavené míry, vzduch vytlačí kuličku a unikne otvorem v těle ventilu ven. Při poklesu tlaku kulička opět zapadne a dosedne na osazení.

Pro správnou funkčnost musí být ventil zkalibrován. To se provádí s vypnutou ventilovou jednotkou, tedy všechny škrticí ventily uzavřeny, a se spuštěným kompresorem. Šroubem se nastaví přitlak na kuličku tak, aby byl přetlakový ventil otevřen. Při zahrání jednoho z tónů by se měl sám uzavřít.

### ■ 3.5.3 Adaptér na harmoniku

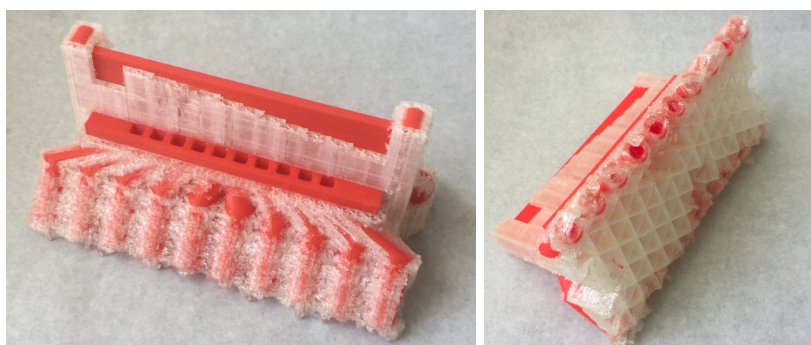
Poslední součástí rozvodů vzduchu byl adaptér na harmoniku. Jednalo se o mezičlánek, který přiváděl vzduch z ventilové jednotky ke správným jazýčkům harmoniky. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1, hraní vyžaduje jednak foukání a také odsávání vzduchu z otvorů. Adaptér řešil tuto obtíž tak, že místo odsávání vzduchu přes otvor foukal na jazýček z druhé strany. Tedy místo vytváření podtlaku u otvoru vytvářel přetlak nad jazýčkem. To mělo mít za efekt vylovení stejného tónu, jako kdyby byl z otvoru vzduch odsáván.





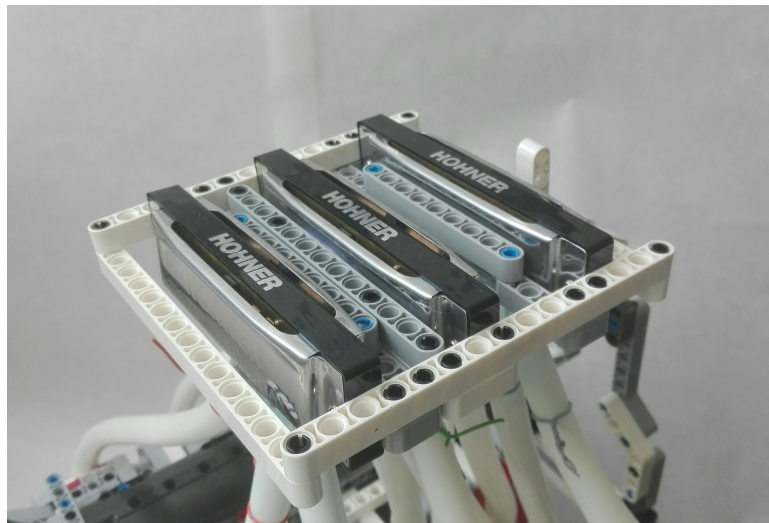
**Obrázek 3.13:** Adaptér s namontovanou harmonikou a LEGO dílky

Vzhledem ke komplexitě tohoto dílu bylo nutné zvolit pokročilejší variantu 3D tisku [27]. Bylo zapotřebí využití ve vodě rozpustných podpor, neboť podpory z PLA by bylo téměř nemožné vylámat ze stísněných prostor potrubí a jistě by se při tom samotný adaptér poškodil.



**Obrázek 3.14:** Adaptér na harmoniku před rozpuštěním podpor

Nejprve byl v programu Fusion360 vytvořen zevrubný model harmoniky, okolo kterého byl vymodelován adaptér. Adaptér se skládal z deseti trubic přivádějících vzduch do otvorů pro foukací tóny, z deseti trubic přivádějících vzduch nad jazýčky pro tahací tóny, z výztuh a po stranách z reprodukcí LEGO dílků, které jsou s nimi kompatibilní a slouží k připevnění harmoniky k vršku ventilové skříně. Adaptér s harmonikou byl zprvu umístěn vysoko nad ventilovou skříní, aby se hadice musely co nejméně ohýbat a také aby tvořil zajímavý designový prvek, který by upoutal pozornost. Vzhledem k chybě v návrhu musel být tento adaptér nahrazen provizorním lepeným řešením. Po připojení adaptéru k hadicím a spuštění programu bylo zjištěno, že vzduch se v harmonice pohybuje nepředvídatelně a nelze tedy použít všechny tahací tóny. Proto byly zakoupeny další dvě harmoniky a byl vytvořen adaptér provizorní 3.15, který bude v navazující práci nahrazen dílem, který opět bude produktem 3D tisku.



**Obrázek 3.15:** Provizorní adaptér pro upevnění třech foukacích harmonik

## Kapitola 4

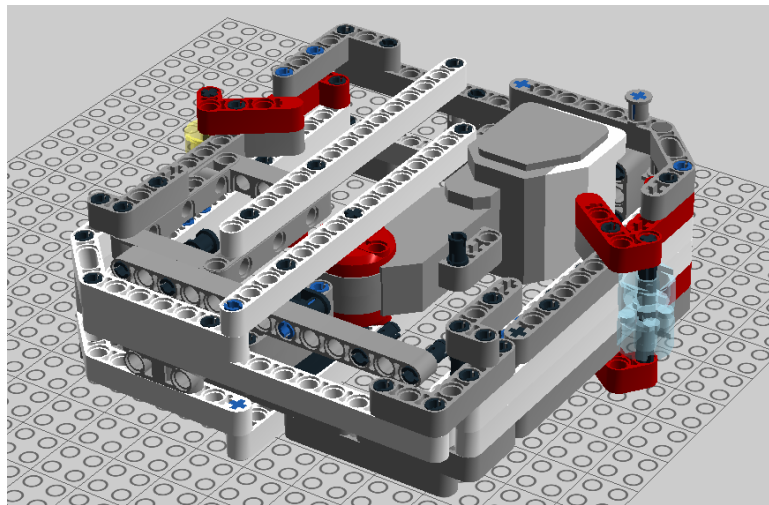
### Webová stránka

Součástí zadání bakalářské práce bylo vytvoření webové stránky, která by popisovala konstrukci robota a obsahovala by i návod na jeho stavbu. Webová stránka byla vytvořena v rámci webu Robosoutěže [3], který je spravován systémem Drupal. Drupal je open-sourcový redakční systém, který v sobě integruje velké množství webových standardů. Je postaven na jazyku PHP a umožňuje tvorbu internetových časopisů, blogů, internetových obchodů a jiných komplexních systémů [28].

Na webu jsou vyvěšeny návody na stavbu základních komponent robota, například ventilové kazety. Ke stažení je tam též veškerý software a popis všech potřebných knihoven s pokyny k jejich instalaci.

#### 4.1 Lego Digital Designer

Lego Digital Designer je program vyvinutý společností LEGO, určený pro virtuální stavění z této stavebnice. Program obsahuje velkou databázi LEGO dílků, které lze vzájemně spojovat a konstruovat tak nejrůznější modely [29]. Bohužel práce v tomto softwaru není příliš snadná. Ovládání je sice intuitivní, avšak dílky občas na sebe nechtějí navazovat, protože se v modelu, například při otáčení, vytvořilo jakési pnutí. Z tohoto důvodu je nepraktické vytváření velkých konstrukcí. Lego Digital Designer také umožňuje pořizovat snímky vytvořených modelů, vygenerovat seznam součástí a také vytvořit návod na sestavení modelu. Právě tento návod je dostupný na webových stránkách.

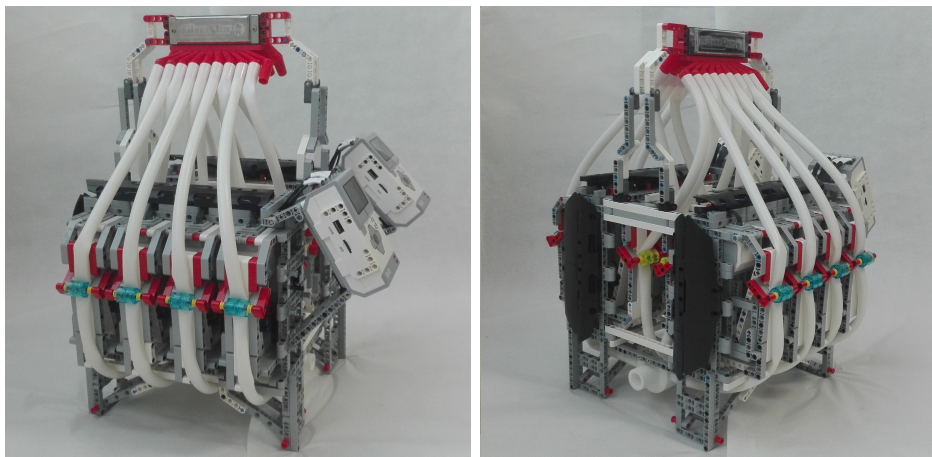


**Obrázek 4.1:** Ventilová kazeta vytvořená v programu Lego Digital Designer

## Kapitola 5

### Závěr

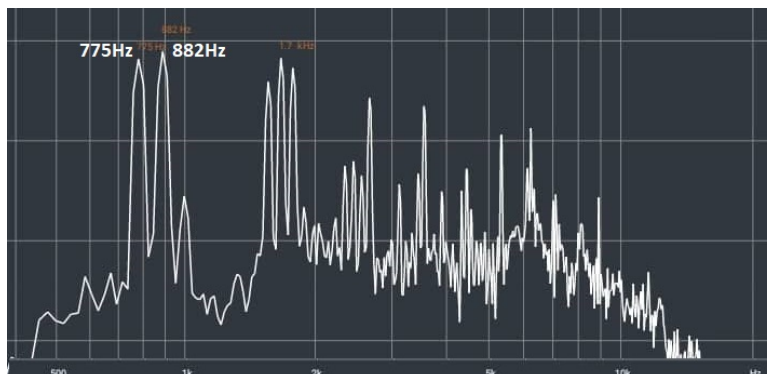
Byl vytvořen robot, který je schopen zahrát jednoduchou melodii na foukací harmoniku. Rychlost hraní je celkem omezená, jednak kvůli využití jednoho servomotoru na ovládání dvou tónů a také kvůli nemalé nutné síle, kterou musí servomotor vyvinout, aby otevřel ventil. Dalším faktorem, který ovlivnil maximální tempo hrané hudby, byl překmit, který při maximální možné rychlosti servomotoru a požadovaném úhlu  $70^\circ$  činil až  $15^\circ$ . V budoucnu bude nejspíše nutné předělat design ventilu tak, aby jeden tón byl ovládán jen jedním motorem. Zvýší se sice počet motorů a počet řídicích kostek, ale kvalita a tempo produkované hudby vzroste taktéž.



**Obrázek 5.1:** Pohled na celého robota s originálním adaptérem z boku a zezadu

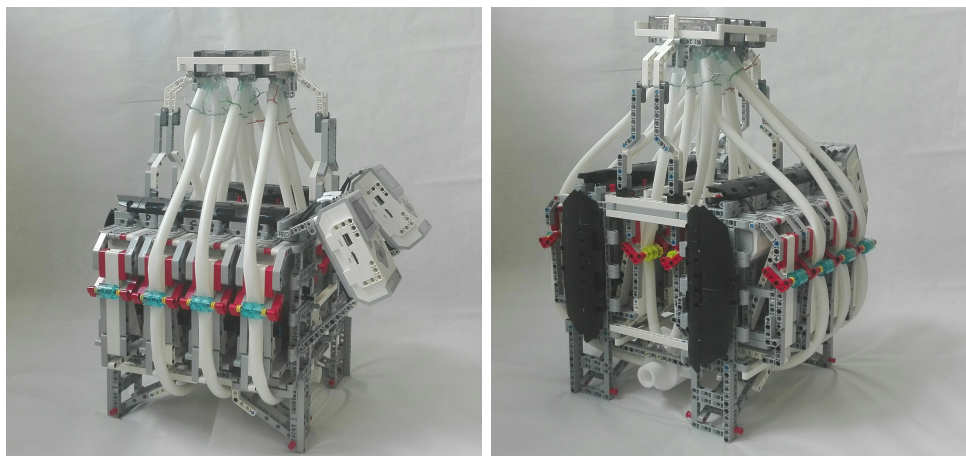
Největším zklamáním byla funkčnost adaptéru. Při testování správné funkce každého tónu zvláště nebyla objevena žádná vada. Bohužel po připojení všech hadic a opětovném otestování každého tónu vyplynulo, že při hraní nasávacích tónů nemá vzduch z harmoniky kam unikat a harmonika vydává falešné zvuky. Ve snaze tuto závadu řešit, byly v adaptéru vytvořeny experimentální otvory, které měly dovolit vzduchu harmoniku opustit. Bohužel připevnění harmoniky

na takovýto adaptér je nejspíš příliš velký zásah do její konstrukce a vzduch se pak uvnitř chová nepředvídatelně. Ani pomocí mobilní aplikace na spektrální analýzu zvuku 5.2 se podle znějících tónů nepodařilo určit, kudy by vzduch mohl téct.



**Obrázek 5.2:** Příklad užití spektrálního analyzátoru pro identifikaci hrajících tónů - vzduch proudí do tónu A3 (880Hz) a uniká přes podladěný tón G3 (784Hz)

V závěrečné fázi projektu bylo nutné se uchýlit k používání pouze foukacích tónů, což v případě harmoniky laděné do C dur znamenalo omezení na tři trojice tónů C, E, G ve třech oktávách. Byly tedy ještě zakoupeny dvě další harmoniky, jedna laděná do D dur a druhá do E dur. Tyto tři harmoniky byly k robotovi provizorně připevněny a součástí další práce bude tvorba přijatelného úchytu.



**Obrázek 5.3:** Pohled na celého robota s novým provizorním adaptérem z boku a zezadu

Softwarová část funguje správně podle očekávání. Byla navržena tak, aby bylo možné robota rozšířit o další řídicí kostky s minimální nutností úprav.





## Literatura

- [1] Orchestriony a hrací stroje. <http://www.orchestriony.cz>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [2] Martin Němec. Využití robota lego mindstorms ev3 - návrh robota hrajícího na piano pro propagaci fel.
- [3] Robosoutěž. <https://robosoutez.fel.cvut.cz>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [4] Fabien Chouteau. Automatic pneumatic harmonica. <https://hackaday.com/2016/04/06/automatic-pneumatic-harmonica/>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [5] Ece496 robotic harmonica player final design project. <https://www.youtube.com/watch?v=k1WZuxX088o>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [6] Chris Walshaw. Abc music notation: Introduction. <http://www.abcnotation.com>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [7] Scalex. Midi - musical instruments digital interface. ZX Magazín. 1994, čís. 3-4/94, s. 33-36. ISSN 1210-4833.
- [8] Joel Chadabe. Part iv: The seeds of the future. Electronic Musician. Penton Media. XVI (5).
- [9] David Huber. The midi manual. carmel, indiana: Sams. Miles (1991).
- [10] vishnubob. Python midi library. <https://github.com/vishnubob/python-midi>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [11] Dexter Industries. Brickpi. <https://www.dexterindustries.com/brickpi/>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [12] StemRobotics. Controlling multiple ev3's through daisy chaining. <https://stemrobotics.cs.pdx.edu/node/2889>. [Online; accessed 23. května 2019].

- [13] !pybluez. <https://github.com/pybluez/pybluez>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [14] Kateřina Mlázovská. Škola hry. <https://chromatika.webnode.cz/informace2/>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [15] Agadir. Divadlo hudby a poezie. <https://www.agadir.cz/teorie.php?vyber=2>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [16] Farnell. Multichannel soldering anddesoldering station. [http://www.farnell.com/datasheets/1722576.pdf?\\_ga=2.49566694.1912716924.1550173999-1183394839.1550173999](http://www.farnell.com/datasheets/1722576.pdf?_ga=2.49566694.1912716924.1550173999-1183394839.1550173999). [Online; accessed 23. května 2019].
- [17] Eduxe. Pneumatické systémy - doplňková souprava. <https://www.eduxe.cz/p/167/9641-pneumaticke-systemy-doplnkova-souprava>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [18] LEGO. Lego - education - introduction. <https://education.lego.com/en-us/about-us>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [19] pctech. Druhy kompresorů. <https://cs.pctech-support.com/97940-what-are-the-types-of-compressors>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [20] LEGO. Official ev3 press release. <http://www.lego.com/en-us/mindstorms/news/2013/january/announcing-lego-mindstorms-ev3/>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [21] Ev3 large servo motor. <https://education.lego.com/en-us/products/ev3-large-servo-motor/45502>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [22] Ev3 medium servo motor. <https://education.lego.com/en-us/products/ev3-medium-servo-motor/45503>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [23] Josef Průša. Original prusa i3 mk3s. [https://shop.prusa3d.com/cs/3d-tiskarny/180-stavebnice-3d-tiskarny-original-prusa-i3-mk3s.html?gmc\\_currency=1&gclid=Cj0KCQjw7sDlBRC9ARIsAD-pDFqpf\\_-1yFX0Sfnh0p0vRvXUuUeYEgoAd6V-0eyL\\_Ygrf0wJinu62\\_MaAqcXEALw\\_wcB](https://shop.prusa3d.com/cs/3d-tiskarny/180-stavebnice-3d-tiskarny-original-prusa-i3-mk3s.html?gmc_currency=1&gclid=Cj0KCQjw7sDlBRC9ARIsAD-pDFqpf_-1yFX0Sfnh0p0vRvXUuUeYEgoAd6V-0eyL_Ygrf0wJinu62_MaAqcXEALw_wcB). [Online; accessed 23. května 2019].
- [24] Silicon Hill. 3d tisk silicon hill. <http://3dtisk.sh.cvut.cz/>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [25] Majid Jamshidian Elmira Arab Tehrany Muhammad Imran Muriel Jacquot Stéphane Desobry. Poly-lactic acid: Production, applications, nanocomposites, and release studies. <https://onlinelibrary.wiley>.



- com/doi/full/10.1111/j.1541-4337.2010.00126.x. [Online; accessed 23. května 2019].
- [26] Autodesk. Cad pro 3d tisk. <https://www.fusion360.cz/>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [27] Josef Průša. Kontaktní rozpustné podpory s original prusa i3 mk2 multi material. <https://www.youtube.com/watch?v=8xsSF2P7UgQ>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [28] O drupalu. <https://www.drupal.cz/o-drupalu>. [Online; accessed 23. května 2019].
- [29] Lego digital designer 4.3. <https://www.lego.com/cs-cz/1dd>. [Online; accessed 23. května 2019].



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šrámek** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **466108**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra řídicí techniky**  
Studijní program: **Kybernetika a robotika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Využití robota LEGO Mindstorms EV3 - návrh robota hrajícího na harmoniku pro propagaci FEL**

Název bakalářské práce anglicky:

**Usage of the LEGO Mindstorms EV3 - Design of the Harmonica Playing Robot for Promotion of the Faculty**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s možnostmi robota Lego Mindstorms EV3 (současný stav, HW a SW vybavení).
2. Proveďte a realizujte návrh robota hrajícího na harmoniku pro propagační účely FEL (např. <https://www.youtube.com/watch?v=klWZuxX088o>)
3. Vytvořte webové stránky k realizovanému projektu (popis, návrh regulátoru nebo principu činnosti, vysvětlení navrženého softwaru, fotogalerii a popřípadě návod na stavbu robota).

Seznam doporučené literatury:

- [1] James Floyd Kelly - LEGO MINDSTORMS NXT-G programming Guide, Second Edition
- [2] Daniele Benedettelli - Programming LEGO NXT Robots using NXC
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=klWZuxX088o>
- [4] <https://www.youtube.com/watch?v=Qow8-7qum0g>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Martin Hlinovský, Ph.D., katedra řídicí techniky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **01.02.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2020**

Ing. Martin Hlinovský, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta