

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

Model elektrického longboardu

Model of an electric longboard

2017

Autor: Jaroslav Petráš

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Novák, Ph.D



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Petráš** Jméno: **Jaroslav** Osobní číslo: **420505**  
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
 Zadávající katedra/ústav: **Ústav přístrojové a řídicí techniky**  
 Studijní program: **Strojírenství**  
 Studijní obor: **Informační a automatizační technika**

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Model elektrického longboardu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Model of an electric longboard**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte model elektricky poháněného longboardu s bateriovým napájením.  
 - mechanický návrh  
 - volba pohonu  
 - sestavení výkonové elektroniky a řízení  
 - praktické ověření.

Seznam doporučené literatury:

[1] Gottlieb, I. Electric Motors and Control Techniques, 1994, McGraw-Hill Education, ISBN 9780070240124  
 [2] Voda, Z a kol.: Arduino - Průvodce světem Arduina, 2015, Nakladatelství Martin Stříž, Bučovice, ISBN 978-80-87106-90-7

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Martin Novák Ph.D., ústav přístrojové a řídicí techniky FS**

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

Datum zadání bakalářské práce: **19.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **16.06.2017**

Platnost zadání bakalářské práce:

*M. Novák*

Podpis vedoucí(ho) práce

*Jaroslav Petráš*

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

*Jaroslav Petráš*

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.

19.4.2017

Datum převzetí zadání


*Jaroslav Petráš*

Podpis studenta

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího bakalářské práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků bakalářské práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

V Praze dne 5.4.2016



.....  
Jméno a příjmení studenta

### Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Doc. Ing. Martinu Novákovi, Ph.D. za odborné vedení práce, za jeho čas, který si vždy udělal na průběžné konzultace a za poskytnutý materiál ke zhotovení samotné bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, která mi byla nejen během psaní této práce vždy oporou.

### Anotace

Tato bakalářská práce na téma elektricky poháněný longboard se skládá z teoretické části a části praktické.

Budeme se zde věnovat jak jednotlivým komponentům, jejich výběru, pokud se bude jednat o součást, která je k dostání na trhu, dále jejich návrhu, a to pokud se bude jednat o součást, která se na trhu buďto koupit nedá nebo ne v požadované modifikaci. Dále bude práce zaměřena na samotnou výrobu a následnou stavbu finálního výrobku, kterým bude elektricky poháněný longboard.

### Klíčová slova

longboard, Arduino, řízení

### Abstract

This bachelor thesis with the topic of electrically powered longboard is made of a theoretical and a practical part.

We are going to be devoted to individual components, choice of them whether they are traded and their design if the exact component can not be bought nor is in demanded modification. Next the thesis will focus on the production and consequential building of the final product, which is going to be the electrically powered longboard.

### Key words

longboard, Arduino, control

## Obsah

1	Úvod .....	7
2	Návrhové parametry .....	8
3	Mechanický návrh .....	9
3.1	Deska .....	9
3.2	Nápravy .....	12
3.3	Kolečka .....	13
3.4	Motory.....	15
3.5	Regulátory otáček.....	17
3.6	Akumulátor.....	18
4	Řídící elektronika .....	20
4.1	Sběrnice I <sup>2</sup> C.....	21
4.2	Senzory a ovládací prvky .....	22
4.3	Popis funkce programu .....	29
5	Rozpis použitých komponentů .....	32
5.1	Mechanické .....	33
5.2	Elektronické .....	33
6	Experimentální ověření .....	35
7	Závěr .....	39
8	Použitá literatura.....	40

## 1 Úvod

Elektricky poháněné longboardy už v dnešní době nejsou nic výjimečného. Klasický longboard se začal objevovat už v šedesátých letech minulého století, kdy surfaři hledali zábavu na dobu, kdy na moři nebyly vlny. Vzali tedy surf ve zmenšeném měřítku, na který pomocí speciálních náprav připevnili kolečka a zábava na souši mohla začít.

Elektrický, nebo také hybridní longboard jak se mu někdy říká, je vlastně klasický longboard doplněný o jeden nebo více elektromotorů, nějakou baterii a další potřebnou elektroniku. Toto vše zajišťuje, že longboard jezdí sám nezávisle na tom, zdali jedeme z kopce nebo ne. Stále však tento trend prožívá velký rozmach a výrobci, kterých není moc, si za své modely nechávají dostatečně zaplatit.

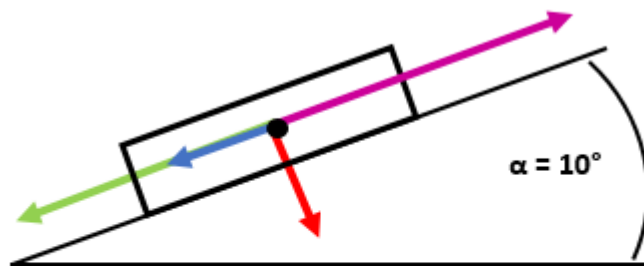
Řada výrobců chce být nejlepší ve své třídě a své modely dovádějí k dokonalosti nejrůznějšími designovými, nebo účelovými prvky. V dnešní době již lze najít elektricky poháněný longboard, který na první pohled nerozeznáme od klasického. Je to z důvodu, že se výrobci podařilo vyvinout takzvané in-wheel motory, které jsou, jak z názvu vyplývá, zabudovány přímo v samotných kolečkách. I baterie bychom zde hledali jen stěží. V dnešní době už jsou baterie na takové úrovni, že je výrobci dokáží schovat do tenké dutiny uprostřed kompozitní desky spolu s veškerou potřebnou elektronikou. Aby všelijakých vychytávek a lákadel na zákazníky nebylo málo, tak se u některých modelů můžeme setkat s aplikací na chytrý mobilní telefon, která nám zobrazí stav baterií, průměrnou a maximální rychlost a další zajímavé informace. Není ani výjimkou možnost zamknutí longboardu pomocí této aplikace, bez opětovného odemknutí nám případný zloděj s longboardem neodjede, není však nic snadnějšího, než vzít longboard do ruky a normálně s ním odejít. Kdyby však zákazník pochyboval o využití této aplikace z důvodu dnešní výdrže baterií chytrých mobilních telefonů, výrobce mu jistě udělá radost tím, že na některé modely dokonce umísťuje USB port, pomocí kterého se mobilní baterie nechá dobít.

Možná se zde nabízí otázka, co je možné na tomto dnešním fenoménu zlepšovat a proč se tato práce zabývá už tolikrát probíraným tématem. Jde zde o to vůbec takovýto model vyrobit, a to hlavně tak, aby splňoval veškeré předem dané požadavky. Prvním, důležitým požadavkem je cena kompletní výroby. Ta je totiž u všech nynějších výrobců velmi přemrštěná, řádově se jedná o částku hodně přes 20 tisíc korun. Je to samozřejmě způsobené tím, že se jedná o nový trend, za který si zákazník, pokud chce jít s dobou, musí zaplatit. Zde se však zaměříme na to, aby výsledný výrobek byl cenově dostupnější, avšak ne na úkor kvality. Dalším požadavkem je kromě rychlosti jízdy, maximální nosnosti, také bez pochyby dojezd na akumulátor. Ten je však úměrný ceně akumulátorů, proto je zapotřebí se více zaměřit na úsporu potřebné energie během jízdy. Aby také dosavadní výrobci nemuseli řešit problémy nastupující s použitím pohonu více kol, většina se zaměřila na pohánění pouze jednoho kolečka, někteří na pohon dvou a to zadních. V této práci se ale budeme mimo jiné také zabývat právě pohonem všech čtyř kol a budeme se snažit vypořádat s veškerým úskalím, které tento pohon přináší. O celkový chod elektronických komponentů se bude starat mikropočítač Arduino, který bude sbírat informace z nejrůznějších senzorů, jako je například akcelerometr, teplotní čidla, senzor proudu či senzor napětí, a na jejich základě vyhodnocovat neoptimálnější rozložení momentu na jednotlivá kolečka. [1]

## 2 Návrhové parametry

První věcí, která je nezbytnou součástí každého návrhu, je nutnost provést prvotní výpočty, od kterých se lze dále odvíjet. Tato část byla součástí projektu, ve kterém byly zadané vstupní parametry, které chceme splnit a na které musely být dimenzované všechny akční členy elektrického longboardu. Zde se touto částí už nebudeme tolik zabírat, jen připomeneme s čím se počítalo a k jakým výsledkům jsme dospěli.

Mezi hlavní vstupní parametry určitě patří maximální váha osoby, se kterou bychom měli dosáhnout požadované rychlosti a dojezdu. Tato zátěž byla stanovena na sto kilogramů, přičemž by měl longboard zvládnout jet rychlostí 20 km/h a to nejen po rovině, ale i do kopce se stoupáním deset stupňů. Se zvětšujícím se stoupáním se bude samozřejmě rychlost snižovat, avšak se snižujícím se se zvyšovat nebude, což je způsobené maximálními otáčkami motorů.



$$F_N = m * g * \cos\alpha \quad \text{normálová síla}$$

$$F_T = \frac{\xi * F_N}{r} \quad \text{třecí síla}$$

$$F_P = m * g * \sin\alpha \quad \text{posouvající síla}$$

$$F_V = F_T + F_P \quad \text{výsledná síla}$$

$$M_K = F_V * r \quad \text{krouticí moment kolečka}$$

$$M_M = \frac{M_K}{i} \quad \text{krouticí moment motoru}$$

$$P = \frac{M_M * \pi * n_M}{30} \quad \text{výkon motoru}$$

obr. 1 - rovnice



V těchto výpočtech dle schématu na obrázku č. 1 bylo zahrnuto mnoho faktorů, mezi které patří například otáčky motoru  $n_M$ , převodový poměr řemenu  $i$ , nebo součinitel tření  $\xi$  mezi kolečkem a asfaltovým povrchem, který byl uvažován 0,0016. Výsledkem bylo zjištění výkonu motorů, který by měl splnit zadané požadavky. Tento výkon by měl být přibližně 1,2 kilowatty, zdali se při výpočtech zvažili všechny vlivy a faktory se uvidí v části experimentu, kdy se bude longboard testovat.

Váha [kg]	Rychlost [km/h]	Stoupání [°]	Potřebný výkon [W]
100	20	10	1192

tab. 1 – vstupní parametry

Vizuální návrh mechanických částí, musel oproti projektu projít značnou změnou. Úprava komponentů byla nutná především z pohledu vyrobitelnosti plastových dílů na 3D tiskárně. Jak bude ve výsledku longboard vypadat můžeme vidět na obrázku č. 2 - počítačový model longboardu.



obr. 2 – počítačový model longboardu

### 3 Mechanický návrh

#### 3.1 Deska

Většina longboardů, ať už klasických nebo elektricky poháněných, má desku z vícevrstvého lepeného dřeva. Z důvodu osvědčenosti bylo rozhodnuto nic neměnit na zaběhnutých způsobech při výběru materiálu desky. Můžeme se však setkat s nejrůznějšími alternativami, jakou může být například deska z uhlíkových vláken, jejíž náklady na výrobu jsou však několikanásobně vyšší.

Naším požadavkem zde byla minimální váha, proto surovinou pro tuto výrobu byla voděodolná překližková deska, která se používá například na podlahy přívěsných vozíků za automobil. Je dostatečně lehká, ale zároveň pevná, aby unesla požadovanou zátěž.

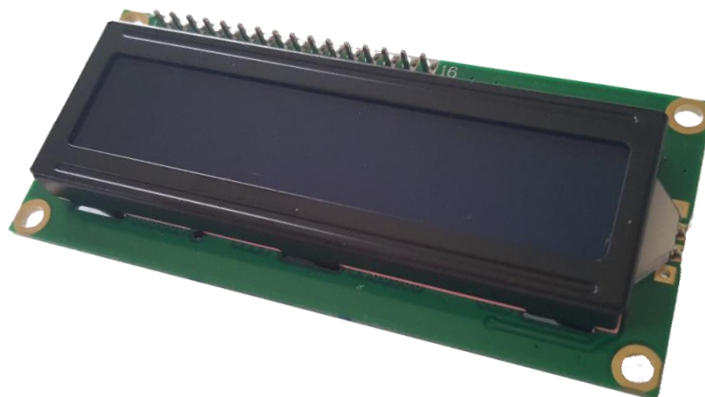
V neposlední řadě je deska odolná vůči jak vnějším vlivům, tak vůči hrubějšímu zacházení, tudíž budeme moci s longboardem jezdit bez starosti o mechanické poškození běžným používáním.

Tvar desky je individuální záležitost a je tak na každém zákazníkovi, jaký tvar sám upřednostňuje. Na funkčnost má totiž minimální vliv. Pro tento účel byl však zvolen klasický symetrický tvar s vyříznutými rohy, které by kvůli nízkému těžišti překážely kolečkům, zde především motorům, a to hlavně v náklonech, tedy v zatáčkách. Výsledný tvar můžeme vidět na následujícím obrázku.



*obr. 3 – deska*

K vyříznutí tvaru postačila obyčejná elektrická přímočará pila, díky které nebyl žádný problém ani s vyříznutím požadovaných rádiusů. Dále bylo zapotřebí do desky v přední části vyříznout otvor pro displej, který bude osobě, která na longboardu pojede, podávat nejdůležitější informace o stavu elektrických komponentů. Mezi asi nejdůležitější informací pro uživatele bude patřit stav nabití akumulátorů. Avšak i pro náročnějšího uživatele, který chce mít přehled o chování elektroniky uvnitř bude tento displej zobrazovat zajímavé informace. Mezi ně patří například teploty jednotlivých motorů, kdy uživatel přesně ví, zdali se nějaký neblíží kritické hodnotě a nebylo by za potřebí budťo ubrat rychlost, případně zastavit a nechat motory vychladnout. Další informací je například teplota ve spodním krytu, kde máme především akumulátor, dále si uživatel může zobrazit aktuální příkon, který motory odebírají, avšak to je už asi informace pro běžného uživatele nepodstatná, avšak pro experimentální část této práce se bude hodit. Displej, který zde byl použit, je dvouřádkový, a to s šestnácti znaky na řádku. Je modře podsvícený, takže uživatel o možnost zobrazení informací nepřijde ani při jízdě v noci. To, jak vypadá vymontovaný z desky, můžeme vidět na následujícím obrázku.



obr. 4 – displej 16x2

Jako většina longboardových desek, tak i tato je vybavena protiskluzovou vrstvou na vrchní straně. Jedná se o již zaběhnutý prvek, který byl pro tento účel koupen v dané metrži. Musela být tedy oříznuta do požadovaného tvaru a následně přilepena k desce. Tato vrstva napomáhá k požadované přilnavosti při naklánění a tedy samotnému ovládání.

Jelikož však ze spodu na této desce bude připevněna téměř veškerá elektronika, je zapotřebí zajistit zakrytí před vnějšími vlivy jako je především voda. Kryt byl navržen tak, aby se do něho vešly i ty největší elektronické komponenty, kterými jsou v tomto případě baterie. Dále se také myslelo na samotný tvar, a to jak z hlediska estetického, tak z hlediska praktického, aby nepřekážel při uchopení longboardu do rukou. V neposlední řadě bylo při návrhu myšleno i na fakt, že by se elektronika, opět hlavně baterie, mohla značně zahřívat. Proto má kryt vepředu i vzadu jakési průduchy, kudy bude moci náporově proudit vzduch. Pokud by však longboard stál dlouho na místě, případně jel malou rychlostí, že by nápor vzduchu nestačil, je v přední části ještě malý dvanácti voltový ventilátor, který bude vyhánět ohřátý vzduch z prostoru krytu ven.

Kryt je vyroben na 3D tiskárně a to z plastu PLA, které má dostatečné vlastnosti jak mechanické, tak tepelné. Samotný kryt můžeme vidět níže.



obr. 5 – kryt elektroniky

### 3.2 Nápravy

Longboardové nápravy se od skateboardových značně liší, jsou celkově širší a i jejich geometrie se výrazně odlišuje. U skateboardu se neklade až tak důraz na zatáčení jako je tomu zde. Nejčastějším materiálem, ze kterého se vyrábí je slitina hliníku. V tomto případě je zvolena odlišná metoda. Z důvodu uchycení motorů, přichází na řadu návrh takové nápravy, která pro to bude uzpůsobená. Geometrie nápravy musí dodržovat dané konvence, tak aby nebylo omezeno zatáčení náklonem desky. Je nutné zachovat základní tvary a k nim vhodně navrhnout motorové úchyty. Z těchto důvodů se nápravy budou tisknout na 3D tiskárně a to opět z plastu PLA, který má dostatečné pevnostní vlastnosti. Díky tomu můžou být úchyty a ostatní prvky náprav umístěny naprosto libovolně.

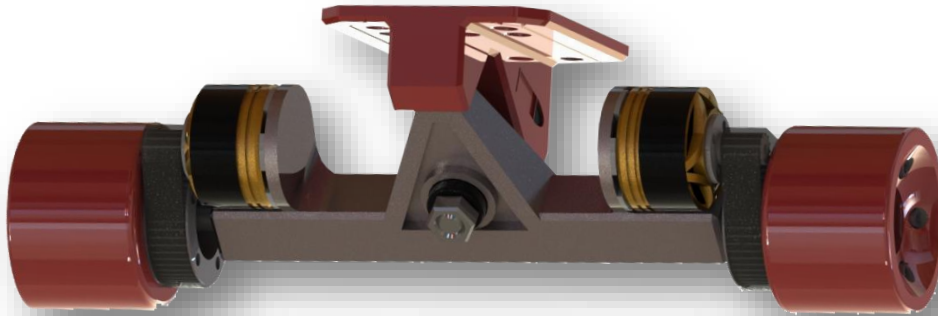
Nápravy se skládají ze dvou částí, jedna část je pevně připevněná k desce a druhá část je pohyblivá, díky ní se může longboard pomocí náklonů zatáčet. Nejprve se podíváme na pevnou část, ta musí mít danou geometrii, tak aby šlo dostatečně zatáčet. Tvar byl navržen podle standardizovaných tvarů tak, aby jednak svojí plochou překrýval díru v desce, ve které je umístěn displej a tvořil mu tak mechanickou ochranu od spodu desky. Dále musel být uzpůsoben k tomu, že bude tisknut na 3D tiskárně, musí tedy splňovat určité podmínky a musí mít dostatečně silné stěny, protože se přeci jen jedná o plast. Z důvodu neznámých vlastností lepeného dřeva, použitého na výrobu desky, bylo pro uchycení zvoleno šest šroubů místo klasických čtyř, aby bylo dosaženo dostatečně pevného přichycení k desce.

Na pohyblivé části budou přidělané motory, a proto musí být navržena tak, aby bylo možné realizovat pohon pomocí řemene na samotná kolečka. Úchyty jsou navrženy přesně podle zvoleného typu motorů, což by mělo zajišťovat jejich co nejpevnější možné uchycení. Tato pohyblivá část však není celá z uvedeného plastu, avšak je v ní zalita ocelová hřídelka. Ta se nechávala dle výkresu soustružit z kalené ocelové tyče o průměru 10 milimetrů a má zajistit dostatečně pevné a přesné uchycení koleček.

Obě tyto části jsou spolu spojeny pomocí dvou silentbloků a jednoho hlavního šroubu, jehož utažením se nastavuje tvrdost náprav. To znamená, že čím méně tento šroub bude utažen, tím více bude náprava zatáčet. Toto nastavení je asi na každém uživateli, jde především o to, kolik osoba váží a jak hodně je schopna svojí vahou desku naklonit a tím zatočit. Zmíněné silentbloky, jsou vlastně speciální gumové o-kroužky, které byly pro tento účel použity ze skateboardových náprav, které jsem měl k dispozici.

Výroba náprav byla velmi časově i materiálově náročná. Především proto, že první návrhy byly velmi slabé a požadovanou nosnost nevydržely. Tisk jedné nápravy se totiž blíží ke dvaceti hodinám. Tedy i plastu se během výroby spotřebovalo několikanásobně více než bylo ve výsledku použito.

Konečný návrh celé nápravy včetně motorů, koleček, řemenic i řemenů můžeme vidět na obrázku č. 6.



obr. 6 – náprava s elektromotory

### 3.3 Kolečka

Na trhu se můžeme setkat s celou škálou nejrůznějších longboardových koleček, které se liší tvarem, tvrdostí a velikostí. Při výpočtech velikost kolečka hrála značnou roli, z čehož vyplynulo, že je potřeba použít kolečka co největší. Je zde možnost si taková kolečka libovolné velikosti vyrobit, což by samozřejmě šlo. Středový disk by mohl být vytisknutý na 3D tiskárně a jako běhoun použita speciální tvrdá guma.

Při výpočtech se ale počítalo s daným součinitelem tření, který mají longboardové kolečka a z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že se kolečka koupí od specializovaného výrobce. Rozměr koleček byl potřeba co největší a to z důvodu možnosti dostatečného převodování otáček motoru. Výrobci nabízí kolečka s maximálním průměrem 80 milimetrů. Kvůli ceně, která je u koleček o průměru 70 milimetrů téměř třikrát nižší, byly zvoleny kolečka o centimetr menší.

Ke kolečkům bude zapotřebí připevnit řemenice, na což se musel brát ohled při výběru už konkrétního typu. Kolečka by měla mít kónusovou zadní stranu a to hlavně kvůli přesnému uchycení řemenic do osy kolečka. Kdyby řemenice nebyly připevněny přesně v ose, docházelo by k nerovnoměrnému napnutí řemene během otáčení, což by zcela určitě vedlo k přeskokování řemenu v onom místě nejmenšího napnutí. Kónusová zadní strana však nebylo jediné kritérium při výběru. Řemenice se ke kolečku bude muset také nějak přidělat. Zvolil jsem, že nejpevnější a nejlepší uchycení bude pomocí pěti šroubů, které budou skrz kolečko. Bude se tak moci řemenice pevně dotáhnout do kónusové stěny, čímž bude zajištěna přesná poloha. Potřeboval jsem tedy kolečka, která budou gumová až k ložiskům, aby se dala snadno provrtat.

Po zvážení všech faktorů včetně ceny, byl vybrán tento typ. Jedná se o kvalitní kolečka značky Worker s ložisky ABEC – 7, které můžeme vidět na obrázku č. 7. To, jak kvalitní kolečka doopravdy jsou, se uvidí až v praktické části.



obr. 7 - kolečko

Jak už bylo zmíněno pohon bude zajišťován pomocí ozubených řemenů. Nejdříve jsem chtěl použít mě známé ozubené řemeny typu GT2. Tyto řemeny se z důvodu dobré dostupnosti a nízké ceny často používají v modelařině. Čtyři řemeny tohoto typu potřebné velikosti stojí necelých dvě stě korun českých. Použití tohoto typu řemenů navíc v běžné šíři šesti milimetrů mi však vzhledem k výkonu, který bude longboard díky zvoleným motorům mít, začaly přicházet příliš slabé. Nechal jsem si tedy provést výpočet u pražské firmy Uzimex. Poskytl jsem jim veškeré informace co se týče počtu otáček, přenášených výkonů nebo krouticího momentu. Na tomto základě mi přišla odpověď, že mnou vybrané řemeny opravdu tento výkon nedokáží přenést a navrhli mi řešení.

Toto řešení bylo použití vyšší řady ozubených řemenů, konkrétně typu GT3. Jenže kromě nevyhovujícího typu nevyhovovala ani šíře řemenů. Ta byla i u těchto řemenů navržena na 15 milimetrů, což mi velmi zamíchalo s rozměrem náprav, tedy uchycení koleček vůči uchycení motorů. Kromě typu jsem od této firmy dostal i vypočítány rozměry řemenic, které budou opět tisknuty na 3D tiskárně a to opět z plastu PLA. Tyto řemenice budou přenášet krouticí moment od motoru na kolečko a to v převodovém poměru 1:3,7. S tímto převodovým poměrem bude longboard o něco rychlejší, než tomu tak bylo při prvotních návrzích, kdy tento převodový poměr měl být 1:4 a longboard dosahovat rychlosti 20 kilometrů v hodině.

Jak již bylo zmiňováno, ke kolečku budou připevněny pomocí pěti šroubů, které budou kromě krouticího momentu zajišťovat axiální posuv. Konkrétní řemen typu GT3 můžeme vidět na následujícím obrázku.



obr. 8 – ozubený řemen GT3

### 3.4 Motory

Jak jsme z výpočtů zjistili, budeme potřebovat elektromotor o výkonu 1200 wattů. To však ale není jediný požadavek, které musí motor splňovat. Dalšími je velikost, kterou chceme samozřejmě co nejmenší, dále je to váha a v neposlední řadě cena. Abychom tyto požadavky splnili, lze využít střídavé modelářské motory, které jsou dostatečně malé a lehké a zároveň nám poskytnou požadovaný výkon. Je zde však mnoho otázek typu „vydrží takový motor požadovanou zátěž?“. Odpovědi na tyto otázky mohou být však jen zkušenosti dalších modelářů a stavitelů, avšak skutečnost se ukáže až v praxi.

U již existujících elektricky poháněných longboardů se můžeme setkat s pohonem buď na jedno kolečko nebo na dvě zadní. Pro tento model byl zvolen pohon všech čtyř kol. Výhodou takového pohonu bude možnost vlastního regulování otáček každého motoru, díky čemuž longboard bude moci lépe zatáčet. Jako další výhodou pohonu všech kol by jistě stál za zmínku fakt, že během jízdy nevyužíváme stále plný výkon motorů. Máme-li pohon na dvě kolečka, motory musejí být silnější, větší a tvoří nám neustálý odběr energie z, v dnešní době pořád slabého článku, baterií. Použijeme-li však pohon čtyřmi motory, budou moci být slabší, menší a při jízdě, kdy nebude potřeba velkého výkonu, budeme schopni část motorů vypnout. Zbylé motory, které jsou slabší, budou mít i menší odběr energie. Předpokládám, že toto by mohlo vést k razantní úspoře elektrické energie, kterou si longboard poveze v akumulátorech. Jako dalším řešením úspory energie, které se zde nabízí je dnes velmi populární pojem rekuperace. Jedná se o to, že motory, které nejsou aktuálně používané, avšak jsou stále roztáčeny přes řemeny od koleček, by nám mohly generovat energii, kterou bychom následně mohly zpětně dodávat do akumulátorů. Možností spojených s takovýmto pohonem je celá řada a je jen otázkou času, kdy se na něho zaměří i výrobci elektricky poháněných longboardů. [7]



Převodové řemenice nebyly kritériem pouze u výběru koleček, řemenice jsou vždy potřeba minimálně dvě. Tato druhá bude součástí elektrických motorů, na kterých musí být dostatečně připevněna. Při výběru bylo tedy také myslet na to, aby měl motor místo pro radiální zajištění řemenic proti pootočení. Vhodný by tedy byl rotující plášť motoru, ke kterému by se daly řemenice přišroubovat.

Potřebný výkon 1200 wattů by splnily čtyři motory o výkonu 300 wattů. To byl tedy další faktor při výběru vhodných motorů. Je však velmi důležité, aby motor takovýto výkon měl při co nejnižších otáčkách. V případě nedostatečného výkonu by bylo zapotřebí většího převodového poměru, z důvodu většího roztočení motoru při rozjezdech. Nízké otáčky mají pouze motory, používající se do modelů letadel, nebo dnes čím dál více populárních quadro, hexa či oktakoptér. Nastala zde však otázka, zdali se takovéto motory nespálí. Přeci jenom v modelu letadla je motor ofukován vzduchem od vrtule, čímž je jeho vinutí ochlazováno. Jenže použití jiných motorů, které se používají například v modelech aut nebo lodí, kde ofukovány nejsou, nepřipadalo v úvahu právě z důvodu vysokých otáček. Informoval jsem se proto u výrobců, kde jsem zjistil, že mezi těmito motory není žádný rozdíl, co se týče tloušťky vinutí nebo něčeho jiného, co by způsobovalo, že by měly autové motory snést větší teploty. Rozhodl jsem se vybrat letecký motor, který jsem schopen zpřevodovat na přijatelné otáčky a tím se dostat na dostatečný moment potřebný k rozjetí se při co nejvyšším zatížení. Z důvodu zajištění dostatečného chlazení jsem navrhl a vyrobil mezi uložení motorů a samotné motory speciálně tvarované distanční kroužky, které zajišťují volný průchod vzduchu skrze vinutí.

Po dlouhém výběru byly zvoleny motory Tarot 4114, které mají výkon 360 wattů při 320 otáčkách na volt. To při napájení napětím 22,2 voltu bude znamenat, že motor bude mít 7 104 otáček za minutu. U autových motorů se tyto otáčky pohybují přes hranici třiceti tisíc otáček za minutu, což by pro tuto aplikaci nepřipadalo v úvahu. Zvolené motory jsou synchronní střídavé takzvané „outrunner“ motory, které mají jako stator vinutí, které je uvnitř motoru a rotor tvořen permanentními magnety se otáčí okolo. Tento typ bezkartáčových motorů se v modelařině stává čím dál tím více populární jednak kvůli své ceně, rozměrům, ale i kvůli jednoduchosti konstrukce a řízení. Jak takové motory vypadají můžeme vidět na následujícím obrázku konkrétně použitého motoru. [3]



obr. 9 – střídavý elektromotor



### 3.5 Regulátory otáček

Ke každému motoru potřebujeme mít příslušný regulátor otáček. Je to elektronická součástka, která na základě vstupního signálu dokáže měnit výstupní hodnoty pro samotný elektromotor. V našem případě však musíme použít regulátory střídavé, tedy takové, které nám mění stejnosměrné napětí jdoucí z baterií na napětí střídavé, které vyžaduje předem zvolený typ motorů. Jelikož s longboardem není potřeba jezdit dozadu, postačí proto regulátory jednosměrné, tedy takové, které se používají v letadlech případně jiných vrtulových rádiem ovládaných modelech. Pro naší realizaci potřebujeme dostatečnou proudovou zatížitelnost, tedy hodnotu proudu, který regulátor dokáže propouštět trvale. Tabulkové hodnoty zvolených motorů mají maximální proudové hodnoty 40A, je proto důležité, aby regulátory tento rozsah bez problému pokryly. Z tohoto důvodu byly zvoleny regulátory značky X-Rotor s maximální hodnotou trvalého proudu 50A. Velkou výhodou modelářských regulátorů otáček je i vlastnost měření napětí na baterii. Díky tomu, nám regulátor nedovolí vybit baterie na takovou úroveň, kde by mohlo dojít k jejich nenávratnému poškození vlivem takzvaného podvybití pod kritickou úroveň. [2]



obr. 10 – regulátor otáček

Součástí vybraných regulátorů jsou čtyři přepínací piny, díky kterým můžeme měnit směr otáčení motorů. Tato funkce se velmi hodí při montáži, kdy nemusím zkoušet jak motory naletovat k regulátorům, aby se točili na správnou stranu. Dalšími dvěma piny můžeme zapnout nebo vypnout, případně měnit barvu LED indikátorů mezi červenou a zelenou. Tyto indikátory nám říkají, zdali je regulátor připraven k použití atd. Posledním pinem zapínáme funkci DEO. Po zapnutí nám regulátory při nulové hodnotě plynu samy brzdí. Zapnutím této funkce můžeme mít lépe pod kontrolou řízení longboardu avšak se

nám zkracuje maximální dojezd z důvodu nutnosti neustálého držení plynu pokud nemá automaticky brzdit. Protože budou na longboardu regulátory otáček celkem čtyři, tedy ke každému motoru jeden, muselo být zajištěno jejich dostatečné napájení z baterií. Tento problém byl vyřešen pomocí dnes velmi populárního komponentu takzvané Wago spojky. Těch je na longboardu celá řada a zajišťuje přehledné propojení baterií s regulátory bez nežádoucího přechodového odporu, který mohl vznikat například u starších takzvaných čokolád. Použité Wago spojky můžeme vidět na obrázku č.11.



*obr. 11 – Wago spojka pro 5 vodičů*

### 3.6 Akumulátor

Akumulátory jsou v dnešní době čím dál tím více probírané téma. Je to asi nejvíce brzdící součást všech elektricky poháněných strojů, ať už se bavíme o osobních automobilech, v dnešní době tak populárních dronech a nebo nejrůznějších segwayů či elektricky poháněných longboardů.

Pro náš účel, kde je zapotřebí použít takový akumulátor, který bude mít, pokud možno co nejmenší rozměry a přitom bude schopen poskytnout potřebný napájecí proud, bude vhodné sáhnout po lithiových akumulátorech tzv. Li-Pol. Tyto akumulátory se v poslední době používají téměř všude a pomalu vytlačí staré baterie typu Ni-Cd nebo Ni-MH. Jsou schopny poskytnout větší proud ale i mít větší kapacitu při minimálně stejné váze. Je zde však i plno záporných stránek, mezi které například patří možnost exploze a nebo potřeba nabíjení speciální nabíječkou s takzvaným balancérem. K němu se baterie připojuje speciálním konektorem a funguje tak, že měří napětí na jednotlivých článcích baterie a srovnává jejich hodnoty. Po úplném nabití má baterie na všech článcích 4,2 voltu. Kritická hodnota napětí na článku je 2,7 voltu, kdy už dochází k jejich zničení. Normální hodnota, na kterou se články běžně vybíjí, je asi 3,6 voltu. Pro kontrolu bude napětí i stav baterie možno zobrazit na displeji.

Opětovné nabití je u těchto baterií doporučeno takzvaným 1C, což znamená jednonásobkem kapacity. Použiju-li tedy baterii s kapacitou 3000mAh, budu jí nabíjet nabíjecím proudem 3A. Baterie je také výrazně doporučeno nabíjet studené, ne rovnou po vybití, kdy jsou značně zahřáté. Velkou výhodou zde však je to, že Li-pol baterie nemají

takzvanou paměť, což znamená, že mohou být opětovně dobíjeny z jakéhokoliv stavu vybití. Nabíjení je také možné v jakémkoliv stavu přerušit a baterii začít používat. Pokud se ale ví, že se baterie nebude delší dobu používat, je vhodné je před uložením nabít na skladovací napětí, které je asi 3,8 voltu na článek. Ukládání plně nabitých baterií snižuje její životnost.

Jak už bylo zmíněno, Li-Pol baterie se skládají z článků s danou kapacitou a napětím. Vyrábí se však v omezeném počtu. Nejmenší počet článků, které takováto baterie může mít je jeden. Můžeme jí najít například v telefonních zařízeních. Naopak největším počtem článků, které se u nás dají sehnat je šest. Baterie má potom 22,2 voltu. Nejběžnějším počtem, které se především v modelářství používá, jsou dva, tři, případně čtyři články. Dvoučlánekové baterie se nejčastěji používají v dálkově řízených autech, tříčlánekové v letadlech a čtyř článkové v asi nejnovější, druhu modelů a to kvadrokoptérách. [4]

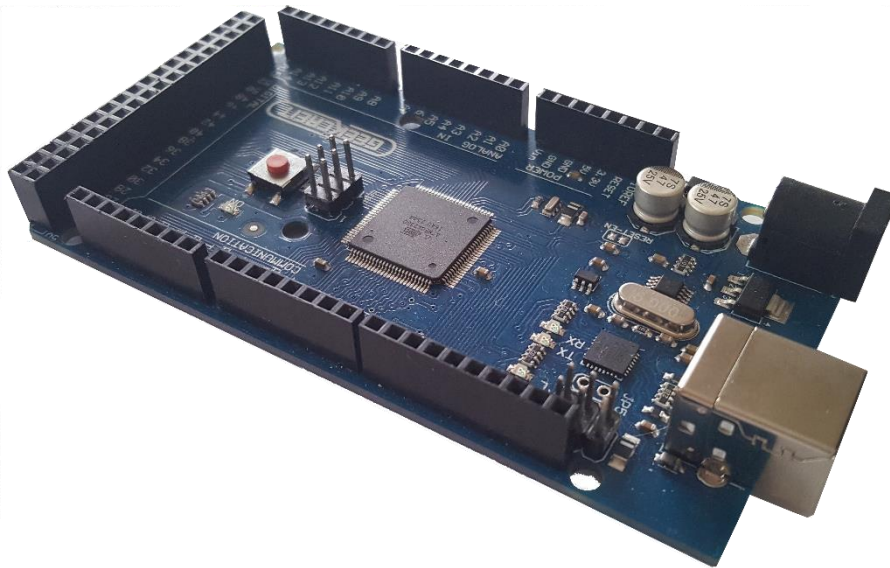


obr. 12 – Li-pol baterie

Pro tento model bude však zapotřebí použít baterie dvě a to z důvodu potřebného napětí. Zvolené motory, které mají potřebný výkon při relativně nízkých otáčkách však pracují při napětí 22,2 voltu. To odpovídá šestičlánekové baterii. My ale budeme potřebovat i zdroj napětí o nominální hodnotě 12 voltů, které bude využívat hlavně naše řídicí a senzorová elektronika. Proto zde bylo zvoleno použití dvou tříčlánekových baterií, které se zapojí do série, čímž bude docíleno celkového napětí právě 22,2 voltu a zároveň bude možno odebírat z jedné či druhé baterie 11,1 voltu pro napájení samotné řídicí elektroniky. Pro snadné připojení obou baterií do obvodu bylo potřeba vybrat i vhodné konektory. Ty se liší nejen tvarem a způsobem spojování, ale také proudem, které jsou schopné přenést. Proto byly zvoleny konektory XT60, které dokáží přenést 60 ampér, což pro náš účel, kdy regulátory nepustí více než 50 ampér stačí. Konkrétně pro testování budou použity dvě tříčlánekové baterie značky Turnigy s kapacitou 3000 mAh. Jejich vybíjecí proud výrobce udává až 30C, což je nějakých 90A. Použité regulátory si však více jak padesát ampér nevezmou, tudíž nás baterie limitovat nebudou. Jejich foto můžeme vidět na obrázku č. 12.

## 4 Řídící elektronika

Základním kamenem této práce je samotné ovládání všech elektrických součástí a komunikace mezi nimi. Tento fakt je zajištěn mikropočítačem Arduino, zde je to konkrétně model Mega2560. Tento mikropočítač bude sbírat data, na základě kterých bude ovládat koncové prvky, tedy samotné motory. Zde budeme používat z finančních důvodů náhradu za Arduino, která je od originálu téměř nerozeznatelná. Náhrada je od firmy Greetech a můžeme ji vidět na obrázku č. 13.



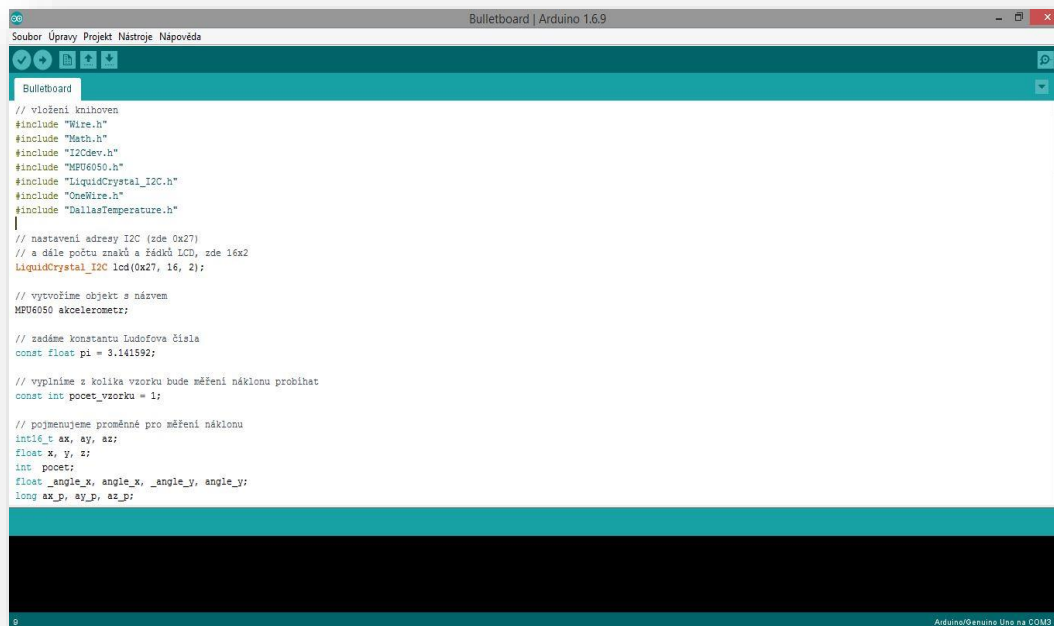
obr. 13 – Arduino Mega2560 (náhrada)

Jedná se o elektronickou desku, která obsahuje mikroprocesor, 54 digitálních vstupů/výstupů, z toho dva piny jsou určeny pro I2C sběrnici, o které bude zmíněno dále. Další vstupní piny jsou analogové a na desce jich můžeme najít celkem 16, dále nabíjecí konektor, resetovací tlačítko a konektor USB sloužící pro připojení k počítači a následnému nahrávání samotného zkompilovaného programu. K programování slouží vlastní jazyk Arduina, který je podobný programovacímu jazyku C a je realizován za pomoci vlastního volně stažitelného počítačového programu Arduino IDE. Jeho vizualizaci můžeme vidět na obrázku č. 14. [5]

Program je velmi uživatelsky přívětivý, čímž napomáhá při programování. Různé příkazy se samy zbarvují různými barvami. Takže mám-li v příkazu chybu, poznám to tak, že se mi nezbarví a odstráním chybu dříve, než mi na ní přijde kompilátor. Když už však nějakou chybu v kódu udělám a nevidím ji hned, může se jednat pouze o chybějící středník za řádkem, a dám ho zkompilovat, zahlásí mi to přesně o jakou chybu se jedná a na jakém řádku jí najdu. Programování tedy není až tak náročné, čemuž napomáhá i rozsáhlá internetová komunita.

Vstupní napětí, kterým můžeme Arduino napájet se pohybuje v rozmezí 6 až 20 voltů, avšak doporučené hodnoty jsou 7 až 12 voltů. Samotné operační napětí desky je 5 nebo

3.3 voltů. Nedílnou součástí je také flash paměť, na kterou se ukládá program a vlastní proměnné, ta má velikost 256 kB.



```

Bulletboard
// vložení knihoven
#include "Wire.h"
#include "Math.h"
#include "I2Cdev.h"
#include "MPU6050.h"
#include "LiquidCrystal_I2C.h"
#include "OneWire.h"
#include "DallasTemperature.h"
|
// nastavení adresy I2C (zde 0x27)
// a dále počtu znaků a řádků LCD, zde 16x2
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// vytvoříme objekt s názvem
MPU6050 akcelerometr;

// zadáme konstantu Ludolfova čísla
const float pi = 3.141592;

// vyplníme s kolika vzorku bude měření náklonu probíhat
const int pocet_vzorku = 1;

// pojmenujeme proměnné pro měření náklonu
int16_t ax, ay, az;
float x, y, z;
int pocet;
float _angle_x, _angle_y, _angle_z;
long ax_p, ay_p, az_p;

Arduino/Genuino Uno na COM3

```

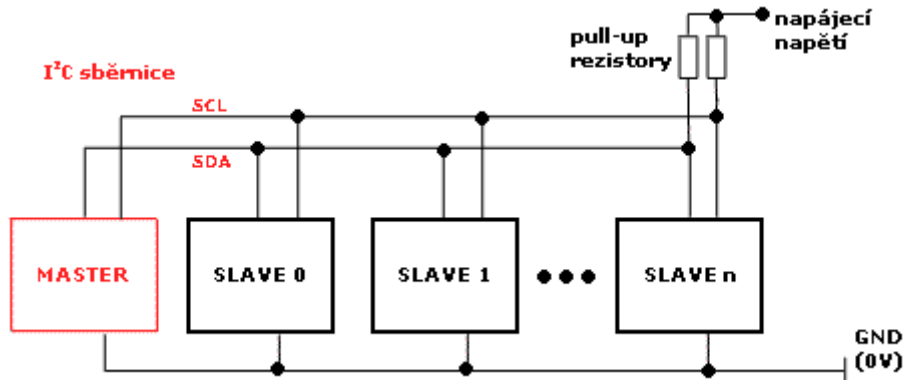
obr. 14 – softwarové rozhraní Arduino IDE

## 4.1 Sběrnice I<sup>2</sup>C

Nejprve k samotnému názvu této sběrnice. Je to označení vzniklé ze zkratky anglického názvu Internal Integrated Circuit, tedy IIC. Z tohoto názvu vyplývá, že se jedná o interní sběrnici integrovaného obvodu, která slouží ke komunikaci a přenosu dat. Je zajištěna pomocí dvou pinů a to SDA (= seriál data), přes která se přenáší data a SLC (= seriál clock), přes který se přenáší informace o čase.

Byla vyvinuta firmou Philips v devadesátých letech a její princip přenosu je založen na tom, že jeden z čipů, zde Arduino Mega, je nastaven jako takzvaný „master“ a ostatní integrované obvody, jako například akcelerometr nebo displej, jsou nastaveny jako takzvaný „slave“. Master vysílá hodinový signál s danou frekvencí a všechny zařízení slave ho přijímají. Podle toho zda jsou obvody adresovány 7bitově nebo 10bitově lze ke sběrnici připojit 128 případně 1024 obvodů typu slave. Podle adresy, kterou master k jednotlivým datům přiřadí se potom jednotlivá zařízení dozvědí, zdali jsou data určena právě jim. Součástí adresy je i takzvaný read/write bit, který určuje, zdali se ze zařízení bude číst nebo se do něho bude zapisovat.

To, jak jsou jednotlivá zařízení typu slave ke sběrnici připojené, můžeme vidět na tomto obrázku.



obr. 15 – zapojení I2C [6]

Při vyšších přenosových rychlostích by mohlo docházet k rušení přenosu signálu, proto se doporučuje mít vodiče SDA a SCL co nejkratší, což jsem se snažil dodržovat. Avšak doporučení, že by se v jejich okolí neměly vyskytovat výkonné a vysokofrekvenční obvody dodržet nemohu z důvodu omezeného prostoru pro veškerou elektroniku. [6]

Arduino Mega sběrnici I2C má a mnoho z komponentů bude připojeno právě přes ní. Její výhodou je, že na tyto dva piny mohou připojit více zařízení, které přenos přes I2C sběrnici podporují. V tomto případě přes ní bude komunikovat displej přes speciální I2C modul. Dále modul s pamětí data a času a akcelerometr.

## 4.2 Senzory a ovládací prvky

Základním komponentem všech ovládacích prvků v tomto projektu, který by měl být zmíněn jako první je joystick. Je to zařízení snímající polohu „kloboučku“ pomocí dvou potenciometrů. Z nich je následně vyhodnocena přesná poloha ve dvou osách.



obr. 16 – joystick



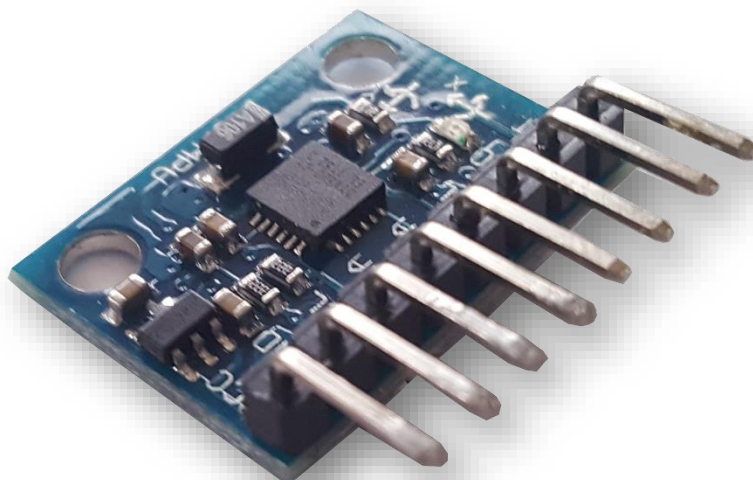
Připojení k Arduinu je za pomoci pěti pinů. Dva z nich jsou napájení, +5V a GND, neboli zem, z anglického slova ground. Další dva jsou analogové signály od potenciometrů pro přenos informace o aktuální poloze „kloboučku“. Joystick lze navíc zmáčknout, funguje tedy jako tlačítko. Pátý pin tedy slouží jako digitální výstup posílající logickou jedničku nebo nulu na základě onoho zmáčknutí. Pro naši aplikaci však budeme využívat jen ovládání v jedné ose, tudíž využijeme piny jen čtyři.

Ten bude zakomponován do ovladače, který bude během jízdy držen v ruce. Jako tento ovladač byl použit komponent z herní konzole Wii, protože svým ergonomickým tvarem perfektně padne do ruky. Joystick bude sloužit k samotnému ovládání „plynu“, tedy rychlosti longboardu.



*obr. 17 - Ovladač*

Jako dalším prvkem, který je součástí desky je akcelerometr. Tato součást slouží jednak jako ovládací prvek, tak i jako senzor. Snímá totiž náklon desky vyvolaný při zatáčení, díky čemuž lze naprogramovat funkci diferenciálu, tedy rozdílů otáček kol na jedné a druhé

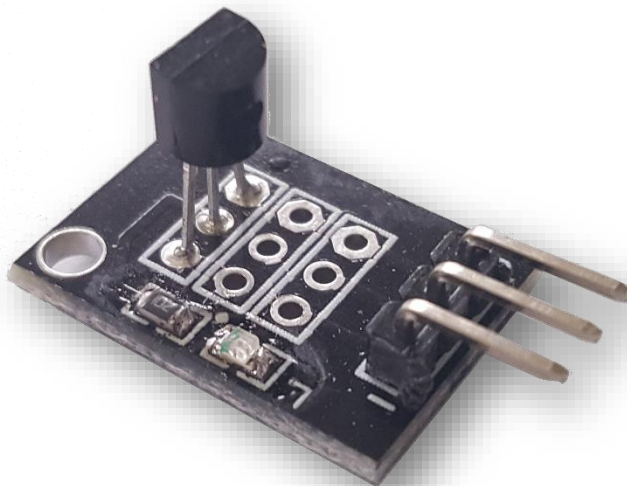


*obr. 18 - akcelerometr*

straně podobně jako tomu je například u automobilů, kde je to však řešeno mechanickými komponenty, konkrétně planetovou převodovkou. Díky této funkci se naskytá možnost rozdílné otáčky kol využívat také k zatáčení. Nemusíme totiž kolečka jen zpomalovat v závislosti na jejich obvodové rychlosti v zatáčkách, můžeme kolečka i zrychlovat. Díky tomu se můžeme dostat na nižší poloměr zatáčení než obyčejné, elektricky nepoháněné longboardy.

Akcelerometr však snímá i náklon ve směru jízdy. Tento údaj je pouze informativní pro pozdější vyhodnocování nasbíraných dat, kdy budeme vědět, zdali byla jízda realizována po rovině, z kopce či do kopce. Zapojení akcelerometru k Arduino zajišťuje již zmíněná sběrnice I2C. Je tedy připojeno na zdroj napětí, zde konkrétně 3,3 voltu, dále na pin GND a dvěma vodiči na piny I2C sběrnice SDA a SCL.

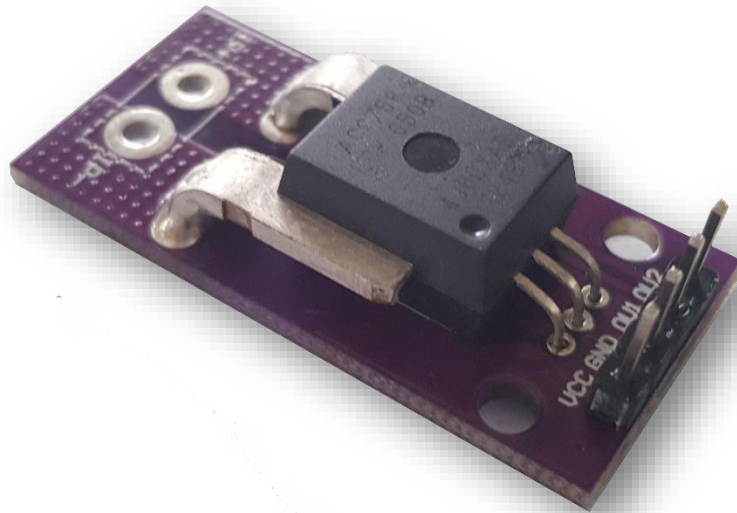
Dalšími senzory, které sbírají data Arduino, jsou čidla teplotní. Zde jich bude použito konkrétně pět. Čtyři teplotní čidla budou snímat teploty vinutí každého elektromotoru. Tím bude zajištěno, že jejich teplota nepřekročí danou hodnotu a nedojde k jejich nevratnému poškození. Páté teplotní čidlo bude umístěno v plastovém krytu u nejdůležitějších elektronických částí. Opět bude sloužit k získání informace o tom, zdali se nějaký komponent nadměrně nepřehřívá, hlavně Lipol baterie, která se může ohřát na maximálních 50°C, aby nedošlo k poškození případně jejímu výbuchu. Teplotní čidla jsou digitální, zapojení k Arduino je tedy realizováno tak, že napájecí pin bude připojen na výstupních 5 voltů, zemní pin na GND a poslední pin dávající informaci o teplotě na digitální vstupní pin. Všech pět teplotních čidel může být připojeno na stejný digitální pin, a to z důvodu že Arduino podle vlastní bitové adresy pozná, ze kterého konkrétního čidla daná informace je.



obr. 19 – teplotní čidlo

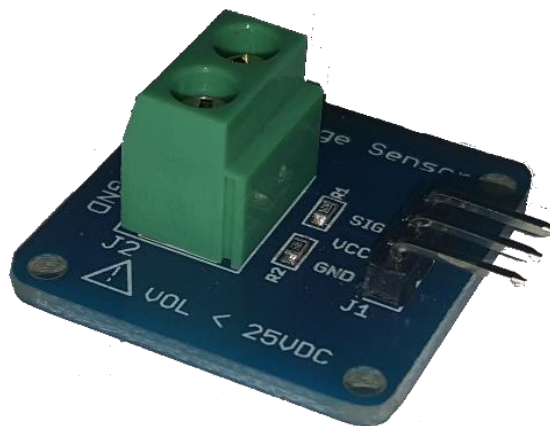
Dalším ze senzorů získávající potřebné informace je součást, která měří proud procházející z baterie do regulátorů. Z této hodnoty lze dopočítat aktuální příkon, který odebírají motory. Maximální proud, na který je senzor dimenzován, je 50A, což je pro tento účel dostačující. Regulátory si ani více vzít nemohou. K Arduino je připojen pomocí tří pinů. Jeden je napájení +5V, druhý je zem a třetí je analogový vstup, který nám dává zpětnou hodnotu napětí od 0V od +5V, na jejímž základě jsme schopni dopočítat v daném rozmezí protékající proud. I tuto součást můžeme vidět na následujícím obrázku.





obr. 20 – proudový senzor

Kromě proudového senzoru použijeme i senzor napěťový. Díky němu budeme mít informaci o aktuálním napětí baterií, díky čemuž budeme schopni určit stav jejich nabití. Senzor je dimenzován pro napětí menší než 25V, což by pro tento účel, kdy na bateriích bude 22,2V, při úplném nabití o něco více, mělo stačit. Opět je jeho zapojení realizováno pomocí tří pinů a to, napájení +5V, zem a analogový signál, jako tomu bylo u senzoru měřícího proud.



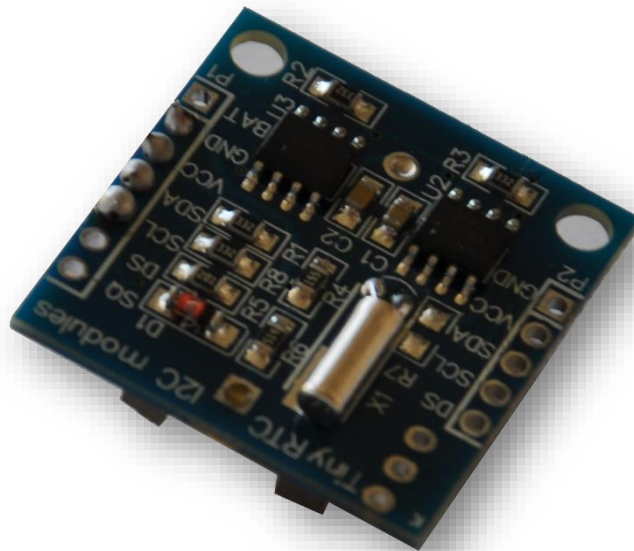
obr. 21 – napěťový senzor

Další součást nepatří ani do prvků ovládacích ani do prvků získávajících nějaké informace. Jedná se o tzv. pípák, který indikuje různé stavy. Hned první stav je zapnutí celé elektroniky, dalším pak například může být indikace přehřátí motorů nebo samotného prostoru s elektronikou. V neposlední řadě bude mít uživatel dle nastavených tónů pojem o aktuálním stavu nabití baterie a její kritické hodnotě. Pípák je digitální součástka, která je k arduinu zapojena pomocí tří pinů. První pin je napájecí, který je připojen na +5V, druhý je připojen na pin GND a poslední slouží pro přenos signálu, kdy má a kdy nemá pípák pípnout. Konkrétní komponent je k vidění na obrázku č. 22.



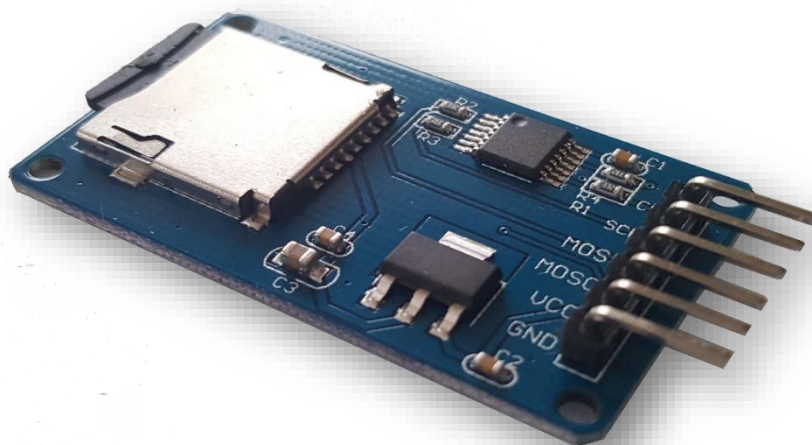
obr. 22 – pípák

Protože Arduino samo o sobě nemá pojem o aktuálním čase a datu, umí počítat jen čas od svého zapnutí, je potřeba k němu připojit takzvaný „clock modul“, který obsahuje malou tří voltovou baterii, podobnou jako je v počítači. Díky té si Arduino uchová pojem o čase i během vypnutého zdroje napájení. Tato součást je další z řady těch, které komunikují přes I2C sběrnici. Připojení je tedy klasicky realizováno přes 4 vodiče, kde dva jsou pro napájení, tedy +5V a zem, a dva jsou pro komunikaci, jeden tedy na SDA a druhý na SCL.



obr. 23– modul s baterií

Čas pro tento účel nebude až tak důležitý, ale pro uchování informací ze všech výše zmíněných senzorů se bude hodit alespoň aktuální datum, případně den v týdnu. Tímto se dostáváme k dalšímu elektronickému komponentu, který bude longboard obsahovat, a to takzvaný microSD modul. Ten bude veškeré nasbírané informace ukládat na paměťovou microSD kartu do textových souborů pod názvem aktuálního data. Zapojení k Arduino je realizováno pomocí šesti pinů, dva jsou pro napájení a zbylé čtyři pro komunikaci a ukládání. Jak microSD modul vypadá můžeme vidět na obr. 24– microSD modul.

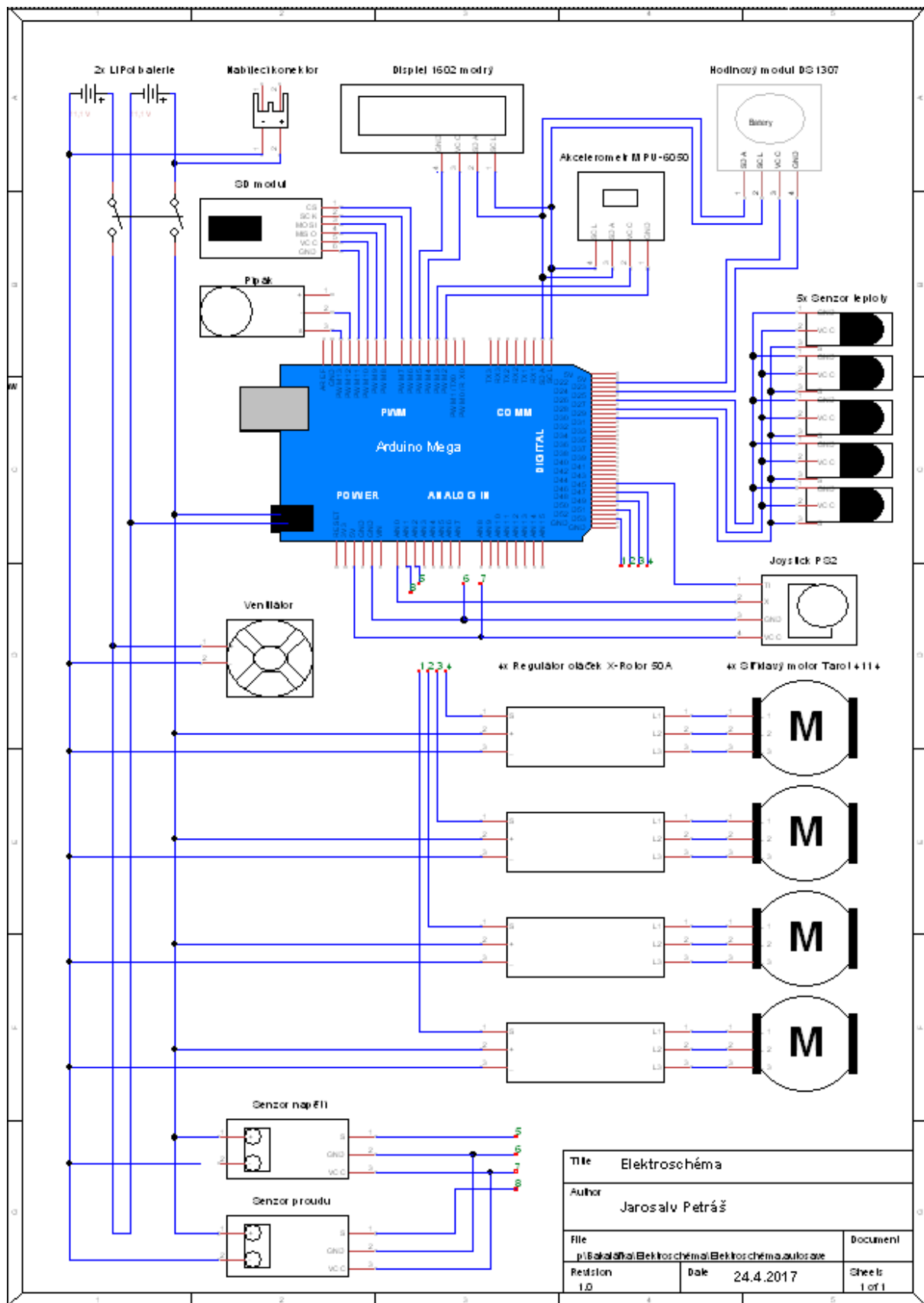


obr. 24– microSD modul

Všechny tyto komponenty jsou zapojeny dle elektroschématu, který můžeme vidět na následující straně. To je sestaveno ve volně stažitelném počítačovém programu TinyCAD. Pro lepší přehlednost je zapojení jednotlivých komponentů znázorněno v následující tabulce č. 2.

● Pin čidla		● Pin Arduina							
<b>Displej</b>	+	4		<b>Teplotní čidlo</b>	+	28	<b>Joystick</b>	+	5V
	-	5			-	26		-	GND
	SDA	SDA			S	30		Tlač.	45
	SCL	SCL		<b>Pípák</b>	+		<b>Senzor napětí</b>	+	5V
<b>Akcelerometr</b>	+	3			-	12		-	GND
	-	2		S	13	S	A2		
	SDA	SDA		<b>SD modul</b>	CS	6	<b>Senzor proudu</b>	+	5V
SCL	SCL		SCK		7	-		GND	
<b>Hodinový modul</b>	+	22			MOSI	8		S	A1
	-	24		MISO	9	<b>Regulátor 1</b>	S	47	
	SDA	SDA		+	10		<b>Regulátor 2</b>	S	49
	SCL	SCL		-	11	<b>Regulátor 3</b>		S	51
						<b>Regulátor 4</b>	S	53	

tab. 2 – tabulka zapojení pinů

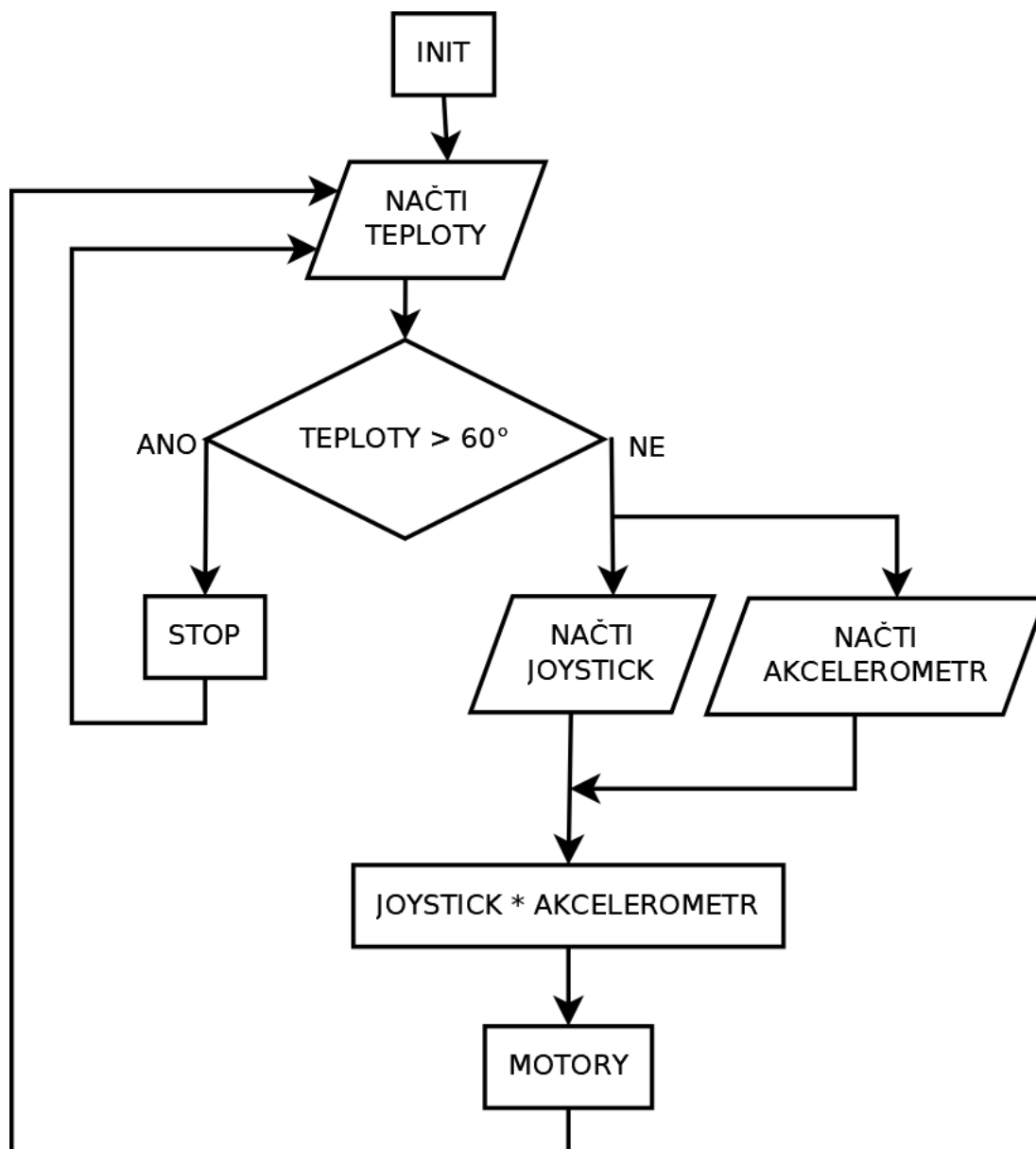


obr. 25 – schéma zapojení elektroinstalace

### 4.3 Popis funkce programu

Program, podle kterého je řízená celá elektronika uvnitř longboardu, je jedna z nejdůležitějších částí této práce. Skládá se z již předpřipravených knihoven, pomocí kterých je realizována komunikace s jednotlivými prvky, jako jsou senzory, regulátory otáček motorů nebo například displej. Dále se skládá ze samotného skriptu, který říká, co se má kde přečíst, co se s danou proměnou má provést a jak se má dále použít.

Jeho princip spočívá ve čtení polohy joysticku ovladače, tedy plynu, na základě kterého ovládáme regulátory otáček, tedy motory. Konkrétně se hodnota získaná z ovladače přečte a následně upraví hodnotou získanou z akcelerometru, tedy proměnnou hodnotou indikující náklon desky při zatáčení. Toto upravení výstupního signálu otáček mění otáčky koleček na levé a pravé straně, čímž má simulovat takzvaný diferenciál u automobilů, tedy to, aby s longboardem šlo zatáčet. Ten je dále vybaven celkem pěti teplotními čidly



obr. 26 – vývojový diagram programu

nacházejícími se na každém motoru a uvnitř elektronické části. Pokud by některé z těchto teplotních čidel překročilo stanovenou teplotu, kdy by mohlo dojít k poškození některého z elektronických komponentů, upraví se naše získávaná proměnná tak, aby se motory zastavily. Výsledná proměnná se následně pošle do regulátorů otáček. Tento cyklus se opakuje každých 50 milisekund, což je dostatečná hodnota pro plynulé ovládání.

Tato řídicí část však není všechno co samotný program obsahuje. Jeho obsahem tedy je i čtení proudu a napětí, z čehož se dále počítá aktuální příkon nebo například stupeň nabití akumulátorů. Longboard je mimo jiné vybaven displejem, který je uživateli tyto veškeré hodnoty schopen zobrazovat. Pro následné vyhodnocení je potřeba tyto hodnoty nejen zobrazovat, ale i ukládat. Z tohoto důvodu skript obsahuje i takovou část, která umí tyto hodnoty vzít a uložit na SD kartu, se kterou můžeme následně pracovat. Dále už se v programu můžeme setkat s částí, která není pro samotný chod důležitá. Je to například, že máme aktuální pojem o čase a datu, což je spíše pro přehlednější ukládání dat právě na zmíněnou microSD kartu. Nebo například zvuková indikace nejrůznějších stavů akumulátorů, zapnutí, vypnutí a podobně pomocí takzvaného pípáku.

Když už víme jak program funguje tak si o něm řekneme něco více. Pracuje konkrétně s osmi knihovnamí, které jsou volně ke stažení na internetu. První z knihoven je knihovna Servo.h. Přesto, že v práci nepracujeme s žádným servem, tak se nám tato knihovna velmi hodí. Jsou přes ní totiž posílány signály do regulátorů otáček stejně jako by byly posílány do serv. Další z knihoven je knihovna Wire.h, ve které je nakonfigurována komunikace přes I2C sběrnici. K této knihovně jsem musel použít, a to hlavně kvůli akcelerometru, ještě jednu knihovnu týkající se sběrnice I2C a to I2Cdev.h. Knihovna MPU6050.h nám zajišťuje čtení zrychlení z akcelerometru a my si díky ní můžeme nechat vypisovat už čisté hodnoty, které si upravíme podle naší potřeby. Například vynulování akcelerometru, které se musí zajistit pomocí takzvaných offsetů, které jsem si změřil pomocí aktuálních hodnot zobrazovaných na displeji. Kvůli používání matematických výpočtů, které jsou složitější než jen plus, mínus, krát a dělení, je potřeba mít součástí kódu i knihovnu Math.h, která má nadefinováno plno dalších matematických operací. V našem případě se použilo například goniometrických funkcí při počítání právě s náklony akcelerometru, tedy desky. Následující knihovna LiquidCrystal\_I2C.h má v sobě nadefinované veškeré znaky a další potřebné proměnné nutné k zobrazování dat na displeji. Předposlední použitá knihovna se jmenuje DallasTemperature.h a je v ní nadefinováno měření teploty v rozsahu -55 až 125°C. Poslední knihovna se také týká teplotních čidel. OneWire.h je knihovna, která zajišťuje komunikaci s mikroprocesorem po jednom datovém vodiči. Zde je na jednom pinu připojeno celkem pět teplotních čidel, kdy každé má svou adresu a my přesně víme, která teplota je ze kterého čidla.

V programu načtení knihoven vypadá následovně.

```
#include "Servo.h"           // načtení knihovny Servo.h pro ovládání regulátoru
#include "Wire.h"            // načtení knihovny pro komunikaci po I2C sběrnici
#include "MPU6050.h"        // načtení knihovny akcelerometru MPU 6050
#include "Math.h"           // načtení knihovny kvůli matematickým výpočtům
#include "LiquidCrystal_I2C.h" // načtení knihovny pro komunikaci displeje po I2C
```

```
#include "DallasTemperature.h" // načtení knihovny teplotních čidel
#include "I2Cdev.h"           // načtení knihovny pro akcelerometr
#include "OneWire.h"          // načtení knihovny pro komunikaci více teplotních čidel
```

Následně bylo zapotřebí deklarovat všechny používané proměnné. Těmi jsou například názvy jednotlivých pinů nebo hodnoty, které jsou počítané ze čtených hodnot. Dále jsou potřebné piny nastaveny jako vstup nebo výstup. A pokud jsou výstupové tak jestli na nich má být logická jednička „high“ nebo logická nula „low“. Část kódu můžeme vidět zde.

```
pinMode(joystick__tlacitko, INPUT); // pin "joystick__tlacitko" nastaven jako vstup
pinMode(pipak, OUTPUT);           // digitální pin "pipak" nastaven jako výstup
digitalWrite(pipak, HIGH);        // zapnutí pípáku
```

Program běží neustále ve smyčce a volá si postupně jednotlivé části. Každá část se stará o nějaký senzor. Nejprve si program načte veškeré proměnné a pak si postupně volá jednotlivé části. První s názvem ovladač, ta zajišťuje čtení hodnot z ovladače. Dále část náklony, ta zjistí a přepočítá okamžité náklony. Následně je to část teploty, ve které se změří teploty z jednotlivých čidel a vyhodnotí, zdali nepřesáhli stanovenou hranici. Získané proměnné se upraví a následně pošlou do regulátorů, uloží na paměťovou kartu respektive zobrazí na displeji. Smyčka v programu vypadá takto.

```
void loop() {
  datum__a__cas(); // měří a zobrazuje datum a čas
  ovladac();       // čte hodnoty z ovladače
  naklony();       // měří a počítá hodnoty z akcelerometru
  teploty();       // měří jednotlivé teploty z čidel
  plyn = map(analogRead(joystick__plyn), 500, 1023, 600, 2100);
  L = map(angle__y+offset__y,-8, 0, 0, 1); // úprava akcelerometrem levé strany
  R = map(angle__y+offset__y, 0, 8, 1, 0); // úprava akcelerometrem pravé strany

  regulator1.write(plyn*R); // posílá upravenou hodnotu do pravých regulátorů
  regulator2.write(plyn*L); // posílá upravenou hodnotu do levých regulátorů
  regulator3.write(plyn*L); // posílá upravenou hodnotu do levých regulátorů
}
```

```
regulator4.write(plyn*R); // posílá upravenou hodnotu do pravých regulátorů

proud = map(analogRead(I), 410, 1023 , 0, 50);
Serial.print("Okamzity odebirany proud je: ");
Serial.print(proud);
Serial.print(" A");
Serial.print("\n"); // zobrazuje okamžitou hodnotu proudu

napeti = map(analogRead(U), 400, 1023, 0, 25);
Serial.print("Okamzite napeti je: ");
Serial.print(napeti);
Serial.print(" V");
Serial.print("\n"); // zobrazuje okamžitou hodnotu napětí

prikon = U * I;
Serial.print("Okamzity prikon je: ");
Serial.print(prikon);
Serial.print(" W");
Serial.print("\n"); // zobrazuje vypočtenou hodnotu příkonu

delay(50); // počká uvedený čas v milisekundách
}
```

## 5 Rozpis použitých komponentů

Použité komponenty bychom mohli rozdělit do dvou větších skupin, kdy do jedné by spadaly komponenty mechanické, tedy takové, díky kterým longboard nějak vypadá, drží po hromadě, unese člověka a hlavně dokáže jezdit. Druhou skupinou by naopak mohly být součástky elektronické, pomocí kterých je realizován pohon, řízení a sensorika.



## 5.1 Mechanické

Díl	Počet kusů	Dodavatel	Cena
Deska	1	vyrobena	-
Nápravy	2	vytisknuto na 3D tiskárně	400 Kč
Kolečka	4	koupeno (insportline.cz)	749 Kč
Kryt elektroniky	1	vytisknuto na 3D tiskárně	80 Kč
Řemeny	4	vyrobena firmou Uzimex	1 300 Kč
Ovladač Wii	1	poskytnuto vedoucím	-
Protisklizový grip	1	koupeno (vyprodeje24.cz)	127 Kč
Kroucený kabel	1	vzato ze starého telefonu	-

tab. 3 – mechanické komponenty

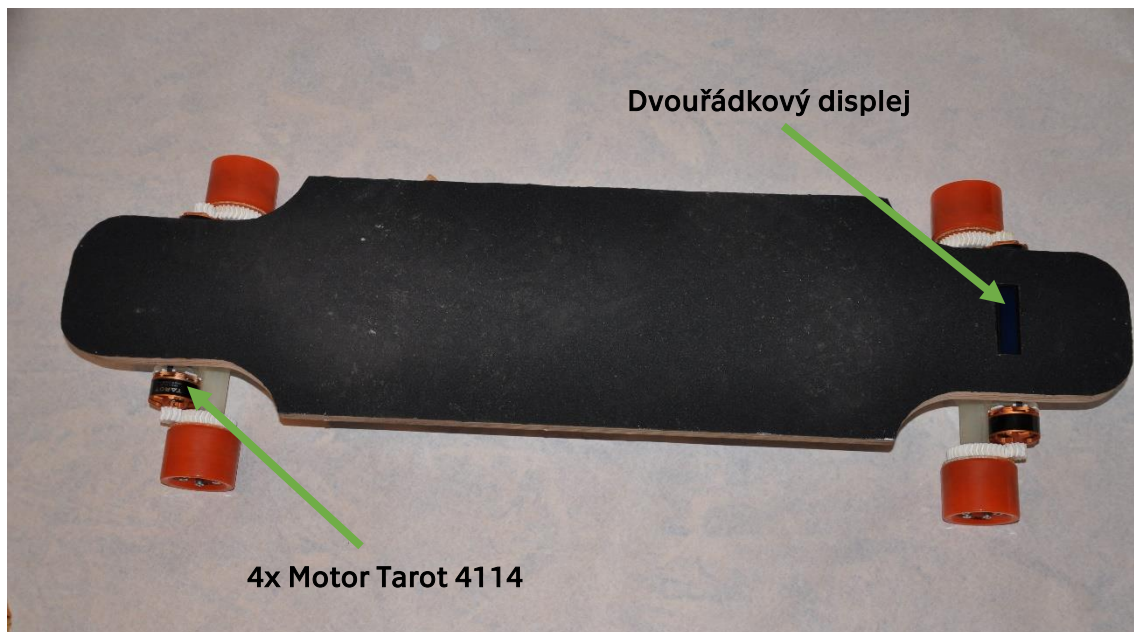
## 5.2 Elektronické

Díl	Počet kusů	Dodavatel	Cena
Arduino Mega (náhrada)	1	koupeno (banggood.com)	249 Kč
Motory Tarot 4114	4	koupeno (hobbyking.com)	4 800 Kč
Regulátory otáček X-Rotor	4	koupeno (hobbyking.com)	3 000 Kč
Displej	1	koupeno (banggood.com)	110 Kč
Joystick	1	koupeno (banggood.com)	37 Kč
Akcelerometr	1	koupeno (banggood.com)	66 Kč
Teplotní senzory	5	koupeno (banggood.com)	145 Kč
Proudový měřič	1	koupeno (banggood.com)	174 Kč
Napěťový měřič	1	koupeno (ebay.com)	32 Kč
Pípák	1	koupeno (banggood.com)	45 Kč
SD modul	1	koupeno (banggood.com)	34 Kč
Časový modul	1	koupeno (banggood.com)	38 Kč
Vodiče (tzv. male to female)	40	koupeno (banggood.com)	52 Kč
LiPol baterie 3 000 mAh	2	koupeno (hobbyking.com)	800 Kč

tab. 4 – elektronické součástky

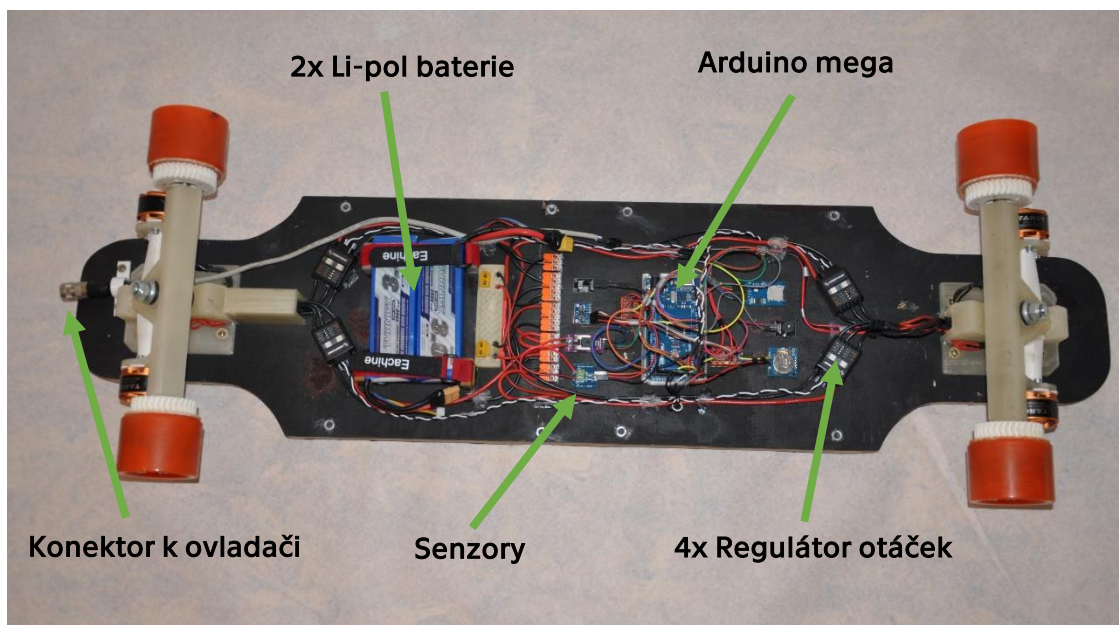
Některé komponenty nakonec nebyly použity, protože se projevily jako nevhodné. Zde se bavíme například o řemenech GT3. Jiné byly třeba poškozeny a tedy bylo zapotřebí pracovat s více kusy než je použito ve výsledné práci. Zde se můžeme bavit například o bateriích, akcelerometru nebo i samotném Arduinu. Celkem tedy kupované komponenty vyšly na více než dvanáct tisíc korun.

Na následujících obrázcích je vidět testovací verze celého longboardu s jednotlivými komponenty tak, jak byla při jednotlivých jízdách testována. Nejdříve můžeme vidět pohled zhora na desku longboardu, kde si můžeme všimnout dvouřádkového displeje umístěného nad přední nápravou. Mimo to jsou na této fotografii také dobře vidět motory spolu s převodem ozubenými koly.



obr. 27 – pohled na horní část výsledného longboardu

Na druhém obrázku je pohled na spodní část. Na fotografii není na longboardu namontován spodní kryt, právě kvůli tomu, aby byla vidět veškerá použitá elektronika.



obr. 28 – pohled na spodní část výsledného longboardu

## 6 Experimentální ověření

Během prvních experimentálních pokusů se naskytly závažné nedostatky. První se dostavil již před první zkušební jízdou. Plastový kryt připevněný ze spodu desky nedokázal unést takové zatížení při průhybu desky a uprostřed praskl. Tento fakt, že se deska prohýbá více než bylo předpokládáno, byl vyřešen následujícím způsobem. Kryt byl rozdělen na dvě části, které se k desce připevní nezávisle na sobě. Uprostřed mezi oběma částmi krytu jsem připevnil pěnovou část, která bude zabezpečovat dilataci mezi jedním a druhým dílem krytu. Na druhou stranu použitá deska splnila očekávání ve všech ohledech. Byla jak dostatečně pružná, aby tlumila nárazy, tak dostatečně pevná a požadovanou zátěž bez problémů unesla.

Kromě spodního krytu se ještě před jízdou ukázal jako nevhodný kroucený kabel použitý z pevné linky telefonního aparátu s plastovými čtyř pinovými konektory. Při manipulaci s ovladačem docházelo k nedoléhání kontaktů a špatnému přenosu signálu do Arduina. Tento kabel byl tedy nahrazen jiným čtyř žílovým. Konektor byl také použit jiný, a to s kovovým obalem.

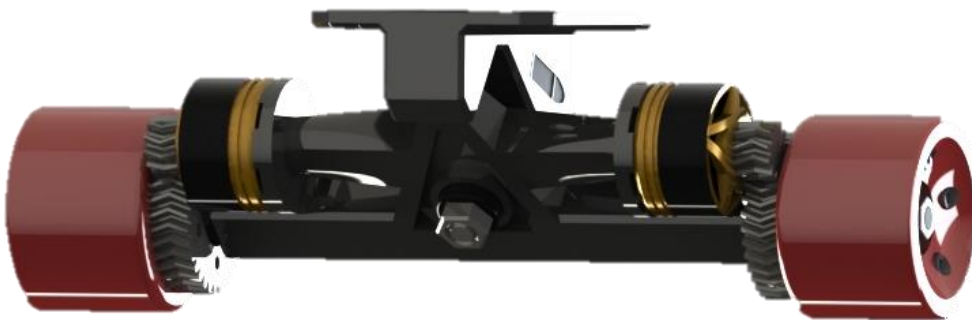
Dalším, a to nejzávažnější problém, nastal při první zkušební jízdě. Pohon pomocí řemenů, které byly vyrobeny dle požadavků, se projevil jako nepoužitelný v kombinaci s použitými motory. Motory mají totiž zadní uchycení, tedy na druhé straně, než byla sama řemenice. Při přidání plynu začala na osu motoru působit tak velká tahová síla od řemenů, že se motory v uložení ohnuly do takové míry, že řemen na malé řemenici u motoru přeskočil místo toho, aby pootočil kolečkem. Mimo jiné byla tato síla tak velká, že se ohýbaly i hřídelky samotných motorů. To způsobovalo drhnutí permanentních magnetů po obvodu rotorového pláště o vinutí statoru. Následovala nutnost vyřešení tohoto problému cestou jiného převodu krouticího momentu z motorů na kolečka. Jako možný způsob se jevil převod ozubenými kolečky. Z obavy velkých sil působících na ozubení, jsem navrhl kolečka s šípovým ozubením, kde bude co možná největší plocha zubu v záběru. Návrh tohoto převodu můžeme vidět na následujícím obrázku.



obr. 29 – model převodu ozubenými koly s šípovým ozubením

Ozubená kola opět tisknuta na 3D tiskárně z plastu PLA. Po instalaci na longboard se ukázal tento převod jako hlučnější, ale na druhou stranu měl menší třecí odpor než převod ozubeným řemenem. To by v neposlední řadě mohlo znamenat menší zahřívání motorů, menší odběr a celkově větší dojezd.

Následovala druhá zkušební jízda. Při té se tento převod osvědčil jako vhodný, avšak pro zatím ne dokonalý. Uložení motorů na plastových nápravách bylo navrženo nevhodně slabé, a i s tímto převodem docházelo k vychýlení motorů a následnému zničení ozubených pastorků. I tento problém musel být odstraněn a to následujícím způsobem. Plastové uložení motorů bylo vzepřeno dalším dílem, který by měl zamezit dalšímu nežádoucímu ohýbání motorů. Vizualizaci řešení můžeme vidět na dalším obrázku.



*obr. 30 – model nápravy s ozubenými koly a výztuhou uložení motorů*

Po této úpravě byl již převod dostatečně vhodný pro tuto aplikaci. Začal jsem tedy se samotným testováním senzorů. Nejvíce problémů bylo s akcelerometrem, který měl snímat náklony desky. Během testování se zničily dokonce dva, bohužel z neznámých důvodů. Mohlo by jím být nějaké přepětí, které může vznikat někde na napájecích pinech nebo statická elektřina, která je také schopna tyto mikrosoučástky poškodit.

Použití akcelerometru se ukázalo jako velmi důležité. Při zkušebních jízdách, kdy akcelerometr neupravoval otáčky motorů na jedné a druhé straně při zatáčení, nešlo téměř vůbec zatáčet. Všechny čtyři motory se točily stejně rychle a samotný náklon desky s čímž spojené zatočení nápravy nebylo dostačující k nějaké reálné ovladatelnosti při jízdě.

Na druhé straně teplotní čidla připevněná na motorech se ukázala jako zbytečná. Během testování se motory vůbec neohřály, což bylo zřejmě způsobeno okolní teplotou, která nebyla příliš vysoká a tím, že motory byly neustále ofukovány proudícím vzduchem okolo celého pláště, který se navíc u použitých motorů také točí. Možná větší význam by mohly mít teplotní čidla na regulátorech otáček. Ty se přece jenom poměrně zahřívají a při dlouhodobějším provozu by mohlo spíše zde dojít k nějakému přehřátí.

Jako napájecí baterie jsem nejprve použil dvě tříčlánkové lipol baterie, o kterých jsem mluvil v kapitole 3.6 Akumulátor. Tyto baterie jsem měl k dispozici v kapacitě 1 300 mAh. Nebyly však nové a po těchto dvou zkušebních jízdách došlo ke zničení způsobeném

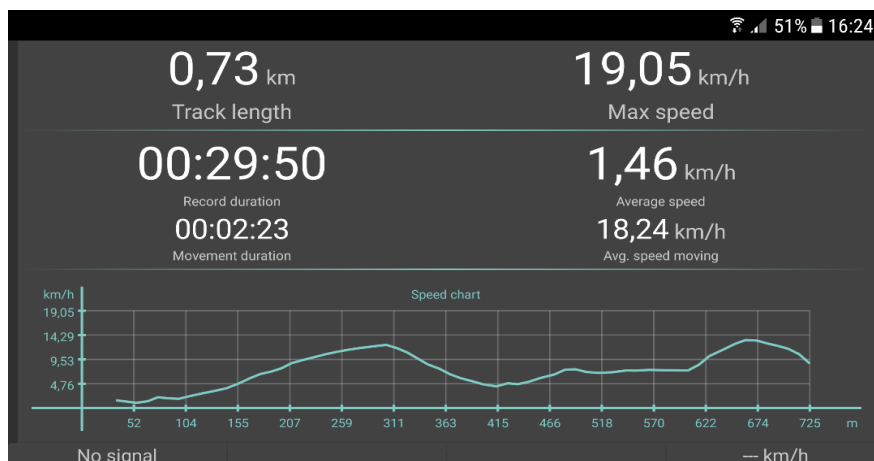


dlouhodobým nepoužíváním. Sehnal jsem tedy akumulátory nové navíc s větší kapacitou, konkrétně 3 000 mAh. Baterie s větší kapacitou jsou však i větší rozměrově, a tak muselo být předěláno uchycení baterií uvnitř plastového krytu. Při testovacích jízdách nikdy nedošlo k jejich vybití na takovou úroveň, že by longboard přestal jet. Dříve vždy přestalo fungovat něco jiného, tudíž jsem jejich celkový dojezd nebyl ani při jedné z těchto jízd schopen naměřit. Během jedné z testovacích jízd bylo natočeno i video. Na obrázek z něho se můžeme podívat níže.



*obr. 31 – záběr z testovací jízdy*

Co se týče rychlosti, kterou by měl longboard dosáhnout, tak dle výpočtů by jeho maximální rychlost měla dosáhnout až 30 kilometrů v hodině a to nejen po rovině. Kvůli změně převodového poměru oproti řemenům tato rychlost vzrostla z dvaceti kilometrů v hodině na třicet, čímž jsem tedy musel snížit požadavky buďto na úhel stoupání, do kterého by měl jet longboard stále maximální rychlostí a nebo na váhu, se kterou by tato rychlost měla být zvládnuta. Pokud bych tedy chtěl zachovat to, že má uvést sto kilogramovou osobu, musel bych požadavek na úhel stoupání snížit z deseti na sedm stupňů. Chtěl bych však toto stoupání zachovat, musel bych snížit požadavek na maximální zatížení ze sta kilogramů na pouhých osmdesát. Tato maximální rychlost však nebyla během testů ověřena. Maximální rychlost, kterou mi strach dovolil byla necelých 20 kilometrů v hodině. Tento údaj však bohužel není hodnotou měřenou přímo na longboardu a to z důvodu složitosti zařízení, které by mi tento údaj dokázalo změřit. Hodnota byla tedy naměřena pomocí mobilního telefonu s GPS přes aplikaci GeoTracker. Tu můžeme vidět na obrázku č. 32 na další straně.



obr. 32 – obrazovka telefonu s aplikací GeoTracker

Ohledně měřených hodnot přímo na longboardu jsem se ale velkému úspěchu netěšil, při programování senzory bez problémů fungovaly a dokázal jsem číst napětí, proud, dokonce z toho i počítat okamžitý příkon. Jenže při zkušebních jízdách, zřejmě kvůli velkému rušení od výkonového obvodu, senzory nebyly schopny pracovat. Naměřené hodnoty, které se měly ukládat na SD kartu buďto nebyly, nebo byly nesmyslné. Nechal jsem tedy hodnoty vypisovat na displej, nejdříve vše fungovalo. Avšak při následné testovací jízdě jsem zjistil, proč mám naměřené nesmyslné hodnoty. Na displeji se se zvyšujícím se odběrem proudu začaly objevovat kromě hodnot ze senzorů nesmyslné znaky a následně celý zamrzl.

Aby bylo ošetřeno galvanické rušení, tedy rušení řídicího obvodu silnoproudým vlivem přímého galvanického spojení po vodičích, umístil jsem do longboardu ještě třetí 12voltovou lipol baterii, která zajišťovala pouze napájení Arduina, které jsem díky tomu mohl úplně oddělit od výkonového obvodu. Avšak toto řešení nepřineslo žádné zlepšení. Usuzuji tedy že rušení bude jiného charakteru ať už kapacitního nebo indukčního. Je však ale možné, že se do řídicího obvodu dostává zpátky proud z regulátorů otáček. Během programování se mi totiž stalo, že jsem měl longboard připojený k počítači pomocí USB kabelu. Přes ten jsem pozoroval hodnoty vypisované na sériovém monitoru. Po zapnutí výkonového obvodu se nic zvláštního nestalo, avšak při přidávání plynu a tedy zvyšujícím se protékajícím proudem, začal počítač blbnout. Ve chvíli kdy hodnota proudu, nemůžu říci jestli reálná, ukázala 45 ampér, se počítač vypnul. Muselo tedy dojít k průchodu proudu z regulátorů do Arduina a tím přes USB kabel až do počítače. Je tedy dost možné, že se komponenty ničí, nebo jen nepracují správně, právě tímto vlivem.

Nakonec experimentálních pokusů se po několika testovacích jízdách plastové nápravy ukázaly jako nevhodné a to z důvodu pevnosti. Samotné tělo nápravy, které je vyztuženo ocelovou osičkou, je pevné dostatečně avšak úchyty motorů, které byly posléze ještě vyztuženy, dlouhodobější únavu nevydrží. Opakovaně se stalo, že z důvodu velkého krouticího momentu prasklo celé plastové uchycení motoru. I samotné motory jsou od výrobce konstruovány na uchycení pomocí třech šroubů M2,5. Takto malé šroubky jsem neměl k dispozici, proto byly díry převrtány na velikost M3. Avšak takto, stále malý, šroub nevydržel síly, které na motory působily a docházelo k takzvanému stržení závitu. Opět byly tyto závity převrtány na M4, což se už ukázalo jako dostatečně pevné, avšak tentokrát namáhání nevydrželo ono uchycení na nápravě.

## 7 Závěr

Elektricky poháněný longboard se podařilo za cenu okolo dvanácti tisíc postavit, naprogramovat a po pár nezdařených pokusech odladit tak, aby jel a vezl osobu.

Co se týče výpočtů k výkonové elektronice, tak lze na základě testů říci, že by byl longboard schopen uvést osmdesáti kilovou osobu rychlostí třicet kilometrů v hodině do kopce s úhlem stoupání deset stupňů. Ověřená rychlost byla 20 km/h, což už bylo na hranici s bezpečností. V tomto ohledu longboard splnil očekávání a nijak nestrádá.

Co se však ale týče řídicí elektroniky, tak už je to trochu horší. Řízení pomocí Arduina mi ze začátku přišlo jako skvělé řešení. Možnost použití spousty senzorů, dle kterých bude řízení zcela optimalizované, použití displeje, na kterém si uživatel bude moci zobrazovat nejrůznější data, použití SD karty, na kterou se všechna tato data budou moci ukládat, to všechno vypadalo jako revoluční nápad ve světě elektricky poháněných longboardů. Avšak později jsem byl trochu zklamán. Sensory sice na stole fungovaly, měřily a zobrazovaly skvělé hodnoty, avšak při zapojení s výkonovou elektronikou nastávaly problémy. Některé komponenty se dokonce zničily a některé ne jednou. Stávalo se během jízdy, že došlo k restartování Arduina, čímž regulátory otáček ztratily signál a zůstaly v aktuální poloze, kdy motory zůstaly běžet. Z tohoto hlediska byla jízda na vyvíjeném longboardu velmi nebezpečná a ne jednou skončila pádem.

Nejen z tohoto hlediska se ukázalo uživatelsky nevhodné použití kabelového ovladače. Při pádu docházelo k vytrhávání kabelu z konektoru a i při manévrování během jízdy byl člověk kabelem omezován. Řešením by mohlo být použití bezdrátového přenosu signálu z ovladače na longboard. To by však ale znamenalo použití další baterie, kterou by ovladač potřeboval. V dnešní době je trend ovládat nejrůznější věci, ať už jsou to dálkově řízené modely či osobní automobily, mobilním telefonem, který má každý vždy u sebe. I takto by se mohl dát longboard ovládat, avšak znamenalo by to vytvoření mobilní aplikace, navíc pro všechny užívané platformy operačních systémů v telefonech.

Dále použití plastu na výrobu náprav bylo zvoleno z finančních důvodů, kdy pro mě bylo nejjednodušší co nejvíce komponentů vyrobit na 3D tiskárně. Během posledních testů se však tento materiál ukázal jako dlouhodobě nevhodný, hlavně kvůli své nízké pevnosti a schopnosti odolávat rázům. Opakovaně se stalo, že úchyt motoru nevydržel okamžité zatížení a praskl, což vždy znamenalo konečnou v testovacích jízdách.

Co se však ale ukázalo jako důležitý prvek při pohonu všech čtyř kol bylo použití akcelerometru pro úpravu otáček kol na levé a pravé straně. Při testovacích jízdách, kdy akcelerometr ještě nebyl zapojen, bylo velmi obtížné s longboardem zatáčet. To se však použitím a vhodným naprogramováním akcelerometru snímajícím náklony desky během zatáčení změnilo. Longboard byl najednou schopen zatáčet lépe než při testech samotných náprav, kde na longboardu ještě nebyly motory namontovány.

Na druhou stranu se prvotní obavy o životnost modelářských motorů z hlediska přehřívání ukázala jako zbytečná. Motory se během jízdy nijak nezahřívaly, tudíž se ukázalo i měření jejich teplot jako zcela zbytečné. Proto také ke konci testů byly tyto teplotní čidla přemístěny na regulátory otáček, u kterých přeci jenom k zahřívání docházelo. Nevhodné však zvolené motory přeci jen byly, ale z úplně jiného důvodu než

kteřou je jejich teplota. Tímto důvodem bylo právě jejich zadní uchycení, tedy uchycení na druhé straně, než byla řemenice, respektive pastorek s šípovým ozubením. Motory byly vystavovány obrovskému ohybovému namáhání, kvůli kterému se muselo opustit od převodu ozubeným řemenem GT3 a přejít na převod pomocí ozubených kol. Avšak ani u tohoto převodu nebylo toto namáhání zanedbatelné, nicméně nebylo kritické.

Díky této práci jsem se naučil plno nových věcí, nabral plno cenných zkušeností a poučil se z neúspěchů. Práce na vývoji této testovací platformy mě bavila, budu pokračovat v dalších testech, nabírat další zkušenosti a těšit se z jízdy na něčem co mi vzniklo pod rukama úplně od základu.

## 8 Použitá literatura

[1] PETRÁŠ, Jaroslav. *Návrh elektricky poháněného longboardu*. Praha, 2016. Projekt. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Martin Novák Ph.D.

[2] ZDAŘIL, Tomáš. *Regulátor otáček pro střídavé motory*. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Zdeněk Kincl.

[3] Helipal. *Tarot 4114* [online]. [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: <http://www.helipal.com/tarot-4114-high-power-brushless-motor-320kv.html>

[4] Lipol baterie. *Obchod pro modeláře* [online]. 2014 [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: <http://www.lipolbaterie.cz/navody/jak-nabijet-lipol-baterie/>

[5] Arduino. *Arduino Mega2560* [online]. 2017 [cit. 2016-12-14]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

[6] Sběrnice I2C. *Vývoj HW* [online]. 2000 [cit. 2016-12-14]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/strucny-popis-sbernice-i2c-a-jeji-prakticke-vyuziti-k-pripojeni-externi-eprom-24lc256>

[7] Elektrické vozy. *Rekuperace elektrické energie* [online]. [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: <https://elektrickevozy.cz/clanky/rekuperace-elektricke-energie>