

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Aktivní nakládění tříkolového vozidla

Autor: **Josef WALDMANN**
Vedoucí práce: **Ing. Roman ČERMÁK, Ph.D.**

Akademický rok 2015/2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Josef WALDMANN**
Osobní číslo: **S13B0295P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Aktivní nakládění tříkolového vozidla**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Proveďte rešerši v oblasti nakláděných dopravních prostředků pro individuální přepravu osob. Zpracujte tematiku z hledisek principů činnosti, srovnání jednotlivých koncepcí, vlastností, aplikací, snižování energetické náročnosti, snižování dopadu na životní prostředí, atd. Zmapujte trendy v oboru a očekávaný budoucí vývoj. V praktické části práce navrhnete ovládání nakládění experimentálního tříkolového vozidla. Podle možností otestujte navrženou variantu odděleně nebo na reálném systému.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše v zadané oblasti
2. Zmapování trendu a očekávaného vývoje
3. Návrh systému nakládění experimentálního podvozku
4. Výpočty a dokumentace podle potřeby

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

FIJALKOWSKI, B. T. *Automotive Mechatronics: Operational and Practical Issues, Vol.II.* New York: Springer, 2011, ISBN 978-94-007-1182-2

RILEY, R. Q. *Alternative Cars in the 21st Century A New Personal Transportation Paradigm, 2nd ed., SAE. USA: Warrendale, 2003, ISBN 0-7680-0874-3*

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Roman Čermák, Ph.D.**

Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Roman Čermák, Ph.D.**

Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **21. září 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2016**

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 21. září 2015

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Waldmann	Jméno Josef	
STUDIJNÍ OBOR	„Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Čermák, Ph.D.	Jméno Roman	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Aktivní naklápění tříkolového vozidla		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	58	TEXTOVÁ ČÁST	55	GRAFICKÁ ČÁST	3
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce se zabývá problematikou alternativních vozidel se zaměřením na tříkolová vozidla a jejich stabilizační systém. V teoretické části jsou popsány alternativy v oblasti dopravy se zaměřením na problematiku tříkolových vozidel a aktivní naklápění. V praktické části je popsán algoritmus pro řídicí jednotku naklápění, včetně vyhodnocení výsledků testování.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Alternativní vozidlo, doprava, tříkolové vozidlo, stabilizace vozidla, naklápěcí systém, aktivní naklápění</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Waldmann	Name Josef	
FIELD OF STUDY	“Transport and handling machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Čermák, Ph.D.	Name Roman	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLÓMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Active tilting three-wheeled vehicle		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	58	TEXT PART	55	GRAPHICAL PART	3
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This bachelor`s thesis deals with the topic of alternative vehicles with focus on three-wheeled vehicles and their stabilization. In the searches are discussed alternatives in the transportation. The main issue is three-wheeled cars and their active titling system. In a practical part is described the algorithm for a driver of titling system and the evaluation of algorithm results.</p>
KEY WORDS	<p>Alternative vehicle, transportation, three-wheeled vehicle, stabilization of vehicle, titling systém, active titling</p>

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval Ing. Romanu Čermákovi, Ph.D. za ochotný přístup odborné rady a pomoc při tvorbě této bakalářské práce.

Zvláštní poděkování patří také mojí rodině, která mě podporovala během mého studia.

Obsah

Přehled obrázků	10
1 Úvod.....	1
2 Možnosti odlehčení dopravy	2
2.1 Alternativní pohonné systémy	2
2.2 Alternativní způsoby pro hromadnou přepravu vozidel a osob.....	2
2.3 Úpravy jízdních pruhů	4
2.4 Snižování velikosti vozidla.....	5
Jednostopá jednomístná vozidla.....	5
Vícestopá jednomístná vozidla	6
3 Stabilitavozeidel	8
3.1 Stabilita tříkolových vozidel.....	10
3.1.1 Ideální poloha těžiště tříkolky	10
3.1.2 Poloha těžiště podle směru jízdy	10
4 Naklápěcí tříkolová vozidla	11
4.1 Tříkolová vozidla s aktivním naklápěním	12
4.1.1 Ukotvení skříně a kol	12
4.2 Prvky nutné pro ovládání vozidla s aktivním naklápěním	13
4.2.1 Aktuátor pro naklápění.....	13
4.2.2 Senzory	14
4.2.3 Řídící jednotka	15
4.3 Existující tříkolová vozidla s aktivním naklápěním	15
5 Prototyp ZČU.....	16
5.1 Výbava.....	16
5.1.1 Senzory.....	18
5.1.2 Driver	18
5.2 Výpočty potřebné v programu.....	19
5.2.1 Úhel natočení výslednice zrychlení v akcelerometru.....	19
5.2.2 Výpočet maximálního úhlu výslednice zrychlení v rovině XZ.....	19
5.2.3 Výpočet maximálního odstředivého zrychlení na vodorovné vozovce ...	21
5.2.4 Výpočet maximální rychlosti při průjezdu zatáčkou.....	21
5.3 Ovládání tříkolky	22
5.3.1 Hlavní řídicí jednotka.....	22

5.3.2	Algoritmus naklápečího systému	23
5.4	Návrh ovládacího panelu	24
5.4.1	Panel navrhnutý na tříkolku	25
6	Testovací zařízení	25
6.1	Arduino Uno (Mega)	25
6.2	Motor shield.....	26
6.3	krokový motor	26
6.4	Akcelerometr	27
7	Testovací provedení	28
7.1	Test kontrolky ovládacího panelu.....	28
7.2	Kalibrace akcelerometru	28
7.3	Test displeje.....	30
7.4	Test krokového motoru.....	31
7.5	Aplikace na vozidlo	31
8	Závěr	32

Přehled obrázků

Obrázek 1 - Dopravní systém [28] ComplexTrans.....	3
Obrázek 2 - skyTran [29]	3
Obrázek 3 - Hyperloop [30]	4
Obrázek 4 - Dálník [31].....	6
Obrázek 5 Reliant regal [33]	7
Obrázek 6 Velorex [32].....	7
Obrázek 7 - Motocyklista při průjezdu zatáčkou [34].....	8
Obrázek 8 - Závodník ploché dráhy [35]	8
Obrázek 9 - Poloha těžiště [18]	9
Obrázek 10 - Poloha těžiště II [18].....	9
Obrázek 11 - Poloha těžiště pro čtyřkolové a tříkolové vozidlo [18].....	10
Obrázek 12 - Naklopení tříkolky I.....	11
Obrázek 13 - Naklopení tříkolky II	12
Obrázek 14 - CarverOne [36]	14
Obrázek 15 - Toyota i-Road [37]	15
Obrázek 16 - Prototyp tříkolky ZČU	15
Obrázek 17 - Krokový motor SX34-2970 [18]	16
Obrázek 18 - Driver Microcon CD40M	17
Obrázek 19 - Schéma driveru Microcon CD40M	18
Obrázek 20 - Schéma tříkolky v rovině YZ	18
Obrázek 21 Schéma tříkolky v rovině XY	19
Obrázek 22 - Vyobrazení maximálního úhlu výslednice v rovině XZ.....	19
Obrázek 23 - Schéma ovládní akčních členů tříkolky	22
Obrázek 24 - Vizualizace pomocí LED kontrolky	23
Obrázek 25 - Vizualizace pomocí displeje	23
Obrázek 26 - Vizualizace pomocí aplikace Android.....	23
Obrázek 27 - Ovládací panel	24
Obrázek 28 - Arduino UNO	25
Obrázek 29 - Adafruit motorshield.....	25
Obrázek 30 - Krokový motor	26
Obrázek 31 - Schéma zapojení vinutí krokového motoru	26
Obrázek 32 - Akcelerometr [40].....	26
Obrázek 33 - Ukázka zapojení panelu z LED diod	27

Obrázek 34 - Ukázka zapojení akcelerometru.....	28
Obrázek 35 - Polohy kalibračního natočení akcelerometru [39].....	28
Obrázek 36 - Výpis z kalibračního programu	29
Obrázek 37 - Ukázka displeje.....	29
Obrázek 38 - Ukázka testovacího zapojení displeje.....	30
Obrázek 39 - Ukázka testovacího zapojení krokového motoru.....	30

Přehled tabulek

Tabulka 1 - Parametry motoru SX34-2970 [21].....	17
Tabulka 2 - Parametry převodky Eisele EPL-SA 84 [18]	17
Tabulka 3 - hodnoty akcelerometru.....	29

1 Úvod

V dnešní době se celý svět potýká s několika globálními problémy, mezi které lze zahrnout doprava a její vliv na životní prostředí. S rychlým vývojem technologií a vyšší životní úrovni se v posledních letech začala zvyšovat hustota dopravy. Lidé si mohou dovolit koupit automobil, dojíždějí do zaměstnání s vidinou úspory času. S tím však souvisí zhoršení kvality životního prostředí jako např. nárůst smogu, zvyšování bezpečnostního rizika, jelikož se zvyšuje nehodovost, zvyšují se nároky na kvalitu a budování dopravní infrastruktury.

Společenské problémy dávají podněty k hledání vhodných řešení a alternativ, jak k dané problémy eliminovat a zkvalitnit život a prostředí. Alternativy v dopravě zajišťující úsporu zdrojů, ochranu životního prostředí a zkvalitnění lidského života jsou neustálém vývoji. V rámci hledání nových cest a trendů jsou rozvíjena alternativní vozidla, na jejichž vývoj se podílí celá řada výzkumných ústavů, automobilových společností, ale i univerzitních týmů. Na prototypu tříkolového vozidla, se dlouhodobě podílí i ZČU se svým rozvojem stabilizačního systému vozidla.

Cílem práce je analyzovat stávající stav na základě dostupných literárních zdrojů a v praktické části popsat aktuální stav řešení prototypu a navrhnout systém naklápění experimentálního podvozku.

Pro naplnění cíle je nutné práci rozdělit do dvou celků – teoretického a praktického. V rámci teoretické přípravy jsou nastudovány dostupné zdroje vztahující se k dané problematice a je sepsána úvodní rešerše pro dané téma. Součástí praktické části práce je programování naklápěcího systému v návaznosti na stávající prototypové řešení. Výsledky programování a jejich dokumentace jsou popsány v druhé části práce.

Teoretická část práce je zaměřena na představení jednotlivých způsobů, jak eliminovat dopravní problémy a přesycenost. Dále je zaměřena na stabilitu vozidel a způsoby jejího řešení. Závěrem rešeršní části je představen existující prototyp studentů ZČU a jeho postupný vývoj.

V praktické části je představen naprogramovaný algoritmus pro aktivní naklápění tříkolky. Vytvořený algoritmus je experimentálně testován a následně importován do řídicího systému tříkolky. V práci jsou jednotlivé výsledky testování zaznamenány a vyhodnoceny.

2 Možnosti odlehčení dopravy

Jedním z globálně řešených problémů současnosti je zvyšující se přetížení dopravy, a to zejména té silniční, a její vliv na životní prostředí. Státní, ale i mezinárodní instituce se věnují přípravě nejrůznějších technických norem, regulí v rozměrech vozidla, váhy vozidla, aerodynamice, míře hluku, produkovaní znečišťujících látek a dalších problematických aspektech v oblasti dopravy a jeho vlivu na životní prostředí. Samotné znečišťování životního prostředí nezpůsobuje jen doprava samotná, ale i výstavba dopravní infrastruktury.

Uvedené problémy daly vzniknout vývoji alternativních cest a způsobů dopravy, které by měly mít pozitivní vliv na životní prostředí a efektivněji využít již vybudovanou infrastrukturu silnic a dálnic.

V rámci výzkumu a vývoje v oblasti dopravy je možné pozorovat několik směrů:

- Alternativní pohonné hmoty a pohony vozidel
- Alternativní způsoby pro hromadnou přepravu vozidel a osob
- Úprava jízdních pruhů
- Snižování velikosti vozidla

2.1 Alternativní pohonné systémy

V současnosti celosvětově klesá zásoba ropy, na které je momentálně závislý dopravní průmysl. Vzhledem ke ztenčování těchto zásob a zvyšujícími se problémy v oblasti znečištění životního prostředí začali lidé zhruba před dvaceti lety hledat alternativní zdroje energie. Cílem bylo méně škodit životnímu prostředí a zároveň zaručit, že doprava bude mít budoucnost.

Mezi nejdůležitější alternativní pohony patří plynové, elektrické, hybridní a vodíkové. Využívají se však i pohony plynové nebo sluneční. [1]

Na trhu se již objevuje celá řada takovýchto produktů, jako jsou hybridní automobily, elektromobily, elektrokola nebo elektrotříkolky, jejichž prodeje se meziročně značně zvedají.

2.2 Alternativní způsoby pro hromadnou přepravu vozidel a osob

V rámci hledání alternativních dopravních prostředků je kladen důraz na rychlost přepravy, což vyplývá z trendů uspěchané doby a překonávání delších vzdáleností.

V rámci výzkumu a vývoje bylo představeno několik typů řešení, která by měla zvýšit efektivitu, bezpečnost a ergonomii v oblasti přepravy osob a zboží.

Dopravní systém ComplexTrans

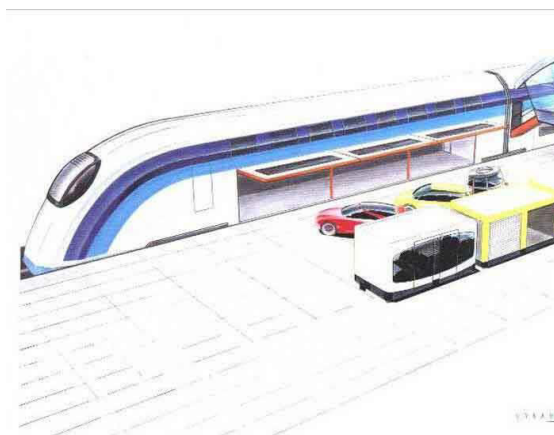
ComplexTrans je české řešení, na jehož vývoji se spolupodílejí ŠKODA Transportation, Západočeská univerzita a České vysoké učení technické. Jedná se o dopravní systém určený pro kombinovanou přepravu zboží a osob. Systém je kombinací silniční a železniční dopravy. Je vhodný na dopravu jak ve městech, tak i mezi městy a zároveň efektivně využívá místo jak při přepravě, tak při parkování vozidel.

V systému jsou sobě navzájem přizpůsobeny především následující komponenty: železniční vozidla, silniční vozidla a budovy. Ve vlcích vznikly prostory pro zaparkování kupémobilu. Kupémobil je silniční vozidlo, které má rozdílné rozměry od současných

automobilů. Má délku 2200 mm, šířku 2000 mm a výšku 1950 mm. Nádraží se musí upravit tak, aby byl zajištěn bezbariérový přístup pro kupémobily.

Řidič kupémobilu zaparkuje ve vlaku a přemístí se do prostoru pro pasažéry. Poté vlak přepraví kupémobil i s pasažérem na požadované místo. Cestující se opět přesune do kupémobilu a může pokračovat v jízdě na silnici.

Dopravní systém má snížit provoz na silnicích a urychlit dopravu. Zvýší se komfort cestujících, protože při jízdách na dlouhé vzdálenosti se řidič nemusí věnovat jízdě. Tím se sníží i riziko dopravní nehody.[2, 3]

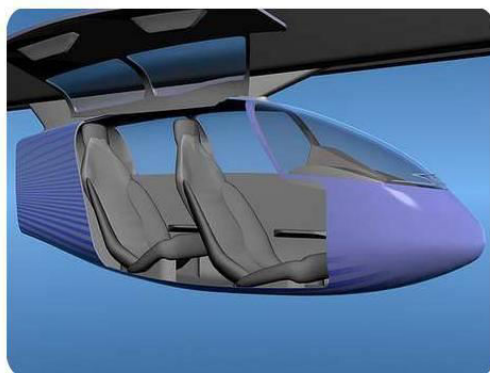


Obrázek 1 - Dopravní systém [28]
ComplexTrans

SkyTran

SkyTran je obrácená jednokolejová magnetická železnice. Cílem tvůrců je vybudovat nový systém městské dopravy. Současný vývoj zajišťuje NASA, která chce systém skyTran dostat do provozu.

V masivní koleji jsou umístěny výkonné elektromagnety, které vytvářejí silné magnetické pole – magnetický polštář. Jde o stejný princip, jaký je známý u magnetických vlaků Maglev. Po magnetickém poli pak doslova kloužou zavěšené několikasedadlové kabiny. Maximální cestovní rychlost kabin je až 240 km/h, ale v reálném provozu se počítá s rychlostí kolem 100 km/h. [4]



Obrázek 2 - skyTran [29]

Hyperloop

Hyperloop je dopravní zařízení, které bylo představeno v roce 2013. Hyperloop je systém hromadné dopravy, který má být rychlejší, levnější, pohodlnější, imunní proti počasí, samozásobit se energií, být odolný proti zemětřesení a navíc šetrný k životnímu prostředí. [5]

Jedná se o speciálně vytvořené kapsle, které v tubusu budou pohybovat jako náboj v hlavni. Dopravní kapsle dokáže vyvinout rychlost kolem 1300 km/h. Koncept kombinuje technologii pohonu pomocí magnetického urychlovače a vzduchového polštáře. Hyperloop je v podstatě potrubí s nízkým tlakem, kde se pohybují kapsle s pasažéry nebo nákladem.

Tlak v potrubí by měl být 100 Pa. Výhodnější by samozřejmě bylo vakuum, ale bylo by také dražší. Pohyb kapslí zajišťují lineární elektromotory na stěnách potrubí. Tyto motory by měli zakrývat přibližně 1 % celého potrubí a urychlovat kapsle po pravidelných intervalech. Kapsle se budou pohybovat na vzduchovém polštáři, který vznikne stlačeným aerodynamickým vztlakem.

Důležitou roli plní kompresor. Vytváří mezi kapslí a stěnou potrubí vzduchový polštář. Důležitější funkcí je, že odsává přebytečný vzduch z přední části kapsle a vhání ho dozadu. Bez kompresoru by kapsle fungovala jako píst ve válci a vznikala by vysoký odpor.[6]



Obrázek 3 - Hyperloop [30]

2.3 Úpravy jízdnic pruhů

V současnosti je na trhu celá škála vozidel, která jsou rozmanitá ve svém výkonu, tvaru a velikosti. Na běžné městské silnici může jet nákladní automobil spolu s cyklistou. Když se vozidla s odlišnou velikostí a rychlostí potkají, může celkem snadno dojít k dopravní nehodě.

Jako možné řešení dopravní situace se jeví úprava jízdnic pruhů a struktury silnice dle typů vozidel, které danou komunikaci běžně využívají. Pro úpravu komunikace je třeba zohlednit velikost vozidla a jeho rychlost.

Jízdni pruhy dle rychlosti

Ve městech je běžná povolená rychlost 50 km/h. V některých částech města je ale zvýšena například na 70 km/h. V takových případech se objevuje problém u vozidel, která nejsou schopná vyšší rychlosti dosáhnout, a zvyšuje se riziko nehody. Typickým řešením problému je vytvoření pomalejšího jízdnic pruhu pro vozidla s nižším výkonem.

Typy zpomalených pruhů: [7]

- vozidla s maximální rychlostí 30 km/h (př. traktory, údržbová vozidla)
- vozidla s maximální rychlostí 50 km/h (př. traktory, skútry, aj.)
- vozidla hnaná lidskou silou (př. jízdní kola, koloběžky, tříkolky pro invalidy)

Jedná se o bezpečné řešení, které je již v rámci dopravní infrastruktury uplatňováno, ale vzhledem k náročnosti na prostor a složitosti vzniklých křižovatek, není možné vždy řešení realizovat. Tento typ budování komunikace je vhodný pro budování na „zelené louce“.

Jízdní pruhy podle šířky

Druhým řešením je úprava struktury silnice dle typů šířky vozidel na pruhy pro široká a úzká vozidla. Nejširší standardní vozidlo má šířku 2,55 m. Jedná se hlavně o autobusy a některé nákladní automobily. Vozidla potřebují jízdní pruh široký minimálně 3,5 m. S takovými pruhy se už v současné době setkáváme.

V současnosti jsou na trh uváděna vozidla, jejich šířka a celková velikost je snižována a vznikají podmínky pro zužování jízdních pruhů, které by mohly využívat menší vozidla, což by mohlo vést ke zvýšení rychlosti provozu. Užší pruh by měl mít šířku přibližně 2 m a měly by ho využívat především motocykly, čtyřkolky a jiná úzká vozidla.

Mezi běžně známé zúžené jízdní pruhy lze zařadit např. cyklopruhy, které slouží výhradně cyklistům. Výhodou těchto pruhů je snížení rizika střetu motorového vozidla s cyklistou. Často jsou cyklopruhy ústí na chodník nebo jsou jeho součástí a tudíž cyklisti nejsou začleněni do běžného provozu. Vytvoření cyklopruhů je spojeno s vyššími náklady na realizaci.

2.4 Snižování velikosti vozidla

Aktuálním problémem ve městech je vysoká hustota provozu, která často vzniká neefektivitou v přepravě osob. Běžný člověk v dnešní době vlastní alespoň jedno vozidlo, které často používá pro dojíždění do zaměstnání. Ve vozidle často jede pouze sám řidič, ačkoliv jezdí v rodinném voze pro pět osob.

V rámci městského provozu a dojíždění do zaměstnání by mohla být řešením úzká nebo velikostně úspornější vozidla, která slouží k přepravě jedné nebo dvou osob a tím umožnit zúžení jízdních pruhů a zvýšit obslužnost na městských komunikacích.

Vozidla pro úzké pruhy lze dělit na jednomístná jednostopá a jednomístná vícestopá.

Jednostopá jednomístná vozidla

Jednostopá vozidla jsou vozidla s dvěma koly, která jsou umístěna za sebou. Některá vozidla mají možnost připojit postranní vozík nebo další přídatné zařízení. Mezi jednostopá vozidla řadíme jízdní kola, motocykly, skútry a dálníky.

- **Jízdní kola**

Jízdní kolo je dopravní prostředek poháněný lidskou silou. Neprodukuje žádné škodlivé zplodiny jako většina dopravních prostředků. Má pozitivní ekologický aspekt a podporuje lidskou kondici. Je dobrou dopravní alternativou na kratší vzdálenosti. Výhodou je vyšší skladnost a možnost kdykoliv z kola sesednout a pokračovat jako chodec. Cyklista je

omezen v jízdě vlivem počasí, zdravotním stavem, nebo velikostí převáženého nákladu. Mezi aktuální trendy v oblasti cyklistiky lze zařadit elektrokolo, které elektrickým pohonem usnadňuje cyklistovi jízdu. [8]

- **Motocykly a skútry**

Motocykl je modifikací jízdního kola. Je osazen motorem, proto jízda na motocyklu není tak namáhavá, jako na jízdním kole. K největšímu rozmachu motocyklů došlo v době 2. světové války, kdy motocykly postupně nahrazovaly jízdní kola. Velmi běžné bylo rozšíření motocyklu o postranní vozík, který zvýšil počet přepravovaných osob.

V době socialismu došlo v ČSSR k recesi motocyklů a téměř k zastavení vývoje, protože ideální socialistická rodina měla mít automobil. Návrat motocyklů nastal po revoluci v roce 1989, kdy si lidé začali pořizovat motocykly pro volnočasové aktivity.

- **Dálníky**

Dálník je kapotovaný nebo také kabinový motocykl, který je hybridem automobilu a motocyklu. Autorem návrhu je český inženýr a pilot Jan Anderle. První prototyp Dálník I sestrojil již během 2. světové války, kdy jako pilot nemohl létat. Roku 1967 Anderle emigroval a později na vývoji pokračoval ve Švýcarsku. Roku 1982 byl představen dálník Peraves. Tyto kabinové motocykly jsou někdy nazývány také jako „švýcarský ekomobil“. [9]



Obrázek 4 - Dálník [31]

Vícestopá jednomístná vozidla

Mezi úzká vozidla lze zařadit i vícestopá vozidla – čtyřkolky, tříkolky nebo úzká údržbová vozidla.

- **Čtyřkolky**

Čtyřkolka je spojením motocyklu a auta. Vozidlo slouží převážně pro pohyb v terénu. Jelikož má čtyři kola, zvyšuje se stability vozidla a řidič má při jízdě větší pohodlí a snižuje se bezpečnostní riziko pádu. Nevýhodou je vyšší opotřebovávání pneumatik a větší spotřeba paliva oproti běžnému motocyklu.

- **Úzká údržbová vozidla**

Úzká údržbová vozidla jsou hojně využívána ve městech např. pro zametání chodníků nebo kropaní silnic. Vozidla mají zpravidla nižší pojezdovou rychlost než 50 km/h a tím se stávají nebezpečné v rámci běžného provozu.

Mezi údržbová vozidla patří:

- zahradní traktory
- multikáry
- vozidla na údržbu chodníků
- malotraktory

- **Tříkolky a tříkolová vozidla**

Tříkolka je obdoba čtyřkolky, nebo motocyklu. Jedná se o vozidlo se třemi symetricky uspořádanými koly. Vozidlo udržuje stabilitu i za klidu na rozdíl od motocyklu.

Tříkolky mohou mít konstrukci dvojího typu. První variantou jsou dvě kola umístěna vpředu vozidla, která slouží pro řízení vozidla a třetí hnací kolo je umístěno vzadu. Taková konstrukce má nižší trakci, tužší řízení, avšak lepší brzdné účinky.

Druhou variantou je konstrukce, kdy je vpředu jedno říditelné kolo a vzadu dvě hnací kola. Výhodou konstrukce je možnost přepravy větších nákladů nebo počtu osob, vyšší trakce, ale oproti tomu horší brzdné účinky.

Koncepce tříkolového vozidla vyplňuje mezeru mezi automobily a motocykly. Mezi silné stránky těchto vozidel patří především lepší komfort jízdy oproti motocyklům a nižší pořizovací náklady a provoz oproti automobilu. Tříkolové automobily jsou v dnešní době používány hlavně v méně rozvinutých zemích a v Evropě se objevují už jen vzácně. Nejznámější druhy tříkolových vozidel, které bylo možné spatřit na našich silnicích, jsou Velorex a Reliant Regal.

Velorex je tříkolové vozidlo s trubkovým rámem. Karoserie je z koženkového materiálu. Je to zároveň jediným vozidlem na světě s plátěnou karoserií.

Reliant Regal je tříkolové vozidlo vyráběné v letech 1953-1973 firmou Reliant Motor Company v Británii. Jeho váha je 355 kg. Od Velorexu se liší tím, že má jedno říditelné kolo vpředu a dvě hnaná vzadu.



Obrázek 6 Velorex [32]



Obrázek 5 Reliant regal [33]

3 Stabilita vozidel

V dnešní době se s tříkolovými vozidly moc nesetkáváme především kvůli jejich snížené stabilitě. V následujících odstavcích jsou uvedeny situace, jak jsou pro jednotlivé typy vozidel řešeny stabilizační problémy.

- **Řidič motocyklu** se při průjezdu zatáčkou naklopí, nebo musí změnit své těžiště. Kdyby tak neučinil, odstředivá síla by motocykl převrátila.



Obrázek 7 - Motocyklista při průjezdu zatáčkou [34]

- **Závodník na ploché dráze** musí při průjezdu zatáčkou dodržovat určitý režim. Řidič musí mít správnou polohu těžiště, optimální natočení řídicích pák a musí koordinovat chod motoru tak, aby udržoval kola ve smyku. Vše záleží na správném ovládnutí závodníka. Tato technika je velmi náročná, proto se využívá jen pro sportovní účely.



Obrázek 8 - Závodník ploché dráhy [35]

- Závody **sprint cars** jsou oblíbené především v USA. Vozidla jezdí nejčastěji na šterkovém okruhu. Stabilitu při průjezdu zatáčkou udržuje křídlo umístěné na střeše vozidla. Je naklopeno k jedné straně, protože na okruhu se zatáčí pouze na levou stranu. Při vyšších rychlostech aerodynamika křídla tlačí vozidlo do vozovky. Bohužel toto vozidlo nejde použít v opačném směru okruhu. Aerodynamika křídla by vozidlo v zatáčce naopak měla snahu převrátit.
- Při průjezdu **formule 1** zatáčkou pomáhá řidiči přední a zadní přitlačné křídlo. Závodník tak může vjet do zatáčky mnohem větší rychlostí než bez nich. Křídla přitlačují vozidlo k vozovce a snižují tak pravděpodobnost, že dojde ke smyku, nebo k převrácení vozidla.

- **Závodníci dráhové cyklistiky** dosahují vyšších rychlostí a jelikož se závodí na okruhu, vzniká problém se stabilitou jezdců v zatáčkách. Aby se zvýšila bezpečnost závodníků, úseky se zatáčkami jsou naklopené. Jezdec se sice musí v zatáčce naklopit, ale je kolmo k vozovce.
- Při **závodech sajdkár** má posádka 2 členy, řidiče a spolujezdce. Řidič ovládá motocykl a spolujezdec udržuje stabilitu vozidla tím, že se pohybuje po postraním vozíku. Tato metoda udržování stability je celkem nebezpečná, proto je vhodná pouze pro sportovní účely.
- **Vlaky** při průjezdu zatáčkou naklopí svojí skříň. V České republice je velmi rozšířena italská lokomotiva s názvem Pendolino. Tato lokomotiva, jejíž název znamená v překladu kyvadélko, využívá systém s naklápěcí skříňí tzv. aktivní naklápění. Systém s naklápěcí skříňí se na vlcích vyvíjí od roku 1938. Vlaky s tímto systémem mohou projet zakřivené úseky na trati až o 30 % rychleji než vlaky bez aktivního naklápění.

3.1 Stabilita tříkolových vozidel

U tříkolových vozidel je nutné zajistit stabilitu vozidla pro bezpečnou jízdu. Pro stabilizaci existují tři známá řešení.

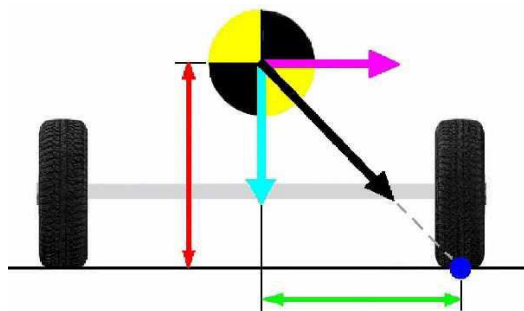
- Řidič odhadne rychlost vozidla danou zatáčkou. Podobně jako to dělá spolujezdec závodního vozidla WRC.
- Tříkolka má správnou polohu těžiště.
- Tříkolka má instalováno aktivní naklápění.

3.1.1 Ideální poloha těžiště tříkolky

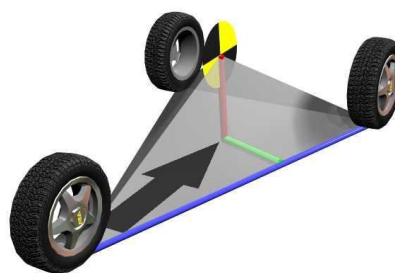
Vzdálenost těžiště od vozovky (červená kóta viz Obrázek 9 - Poloha těžiště, Obrázek 10 - Poloha těžiště II) by měla být taková, aby se směr výslednice gravitační a odstředivé síly (vycházející z těžiště) nacházel na intervalu (zelená kóta). Z toho plyne, že čím výše se těžiště nachází, tím méně je vozidlo stabilní.

Zvýšení stability je možné dosáhnout třemi způsoby:

- Zvýšení hmotnosti vozidla (dojde ke snížení polohy těžiště vůči vozovce)
- Snížení rychlosti při průjezdu zatáčkou (snížení odstředivé síly)
- Posunutí těžiště do strany (viz Obrázek 10)



Obrázek 10 - Poloha těžiště II [18]

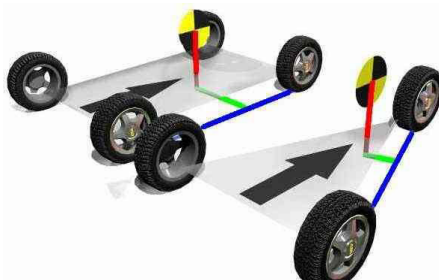


Obrázek 9 - Poloha těžiště [18]

3.1.2 Poloha těžiště podle směru jízdy

Tříkolová vozidla mohou být konstruována ve dvou variantách – s jedním kolem vzadu (např. Velorex) nebo s jedním kolem vpředu (např. Reliant Regal). Ideální poloha těžiště se tedy liší podle směru jízdy. Pokud je směr jízdy stejný jako u Velorexu, těžiště by se mělo nacházet v jedné třetině rozvoru od předních kol viz Obrázek 11 - Poloha těžiště pro čtyřkolové a tříkolové vozidlo.

Pokud je směr jízdy stejný jako např. u Reliant Regalu, těžiště se nachází v jedné třetině rozvoru od zadního kola, viz Obrázek 11 - Poloha těžiště pro čtyřkolové a tříkolové vozidlo. U vozidel se čtyřmi koly se těžiště nachází v jedné polovině rozvoru, viz Obrázek 11



- Poloha těžiště Obrázek 11 - Poloha těžiště pro čtyřkolové a tříkolové vozidlo [18] pro čtyřkolové a tříkolové vozidlo.

4 Naklápěcí tříkolová vozidla

Další možností zvýšení stability tříkolových vozidel je použití naklápěcího zavěšení kol. Při naklápění není poloha těžiště a rozchod kol tak zásadní, a proto mají možnost projíždět zatáčky s větší stabilitou.

Princip naklápěcích tříkolových vozidel je shodný jako u motocyklů, které mají během zatáčení možnost se naklánět na jednu či druhou stranu aniž by se překlápily, protože úhel naklonění je udržuje v rovnováze s odstředivou silou. Podstatou zvýšení stability je tedy posunutí těžiště směrem do zatáčky.

Při průjezdu zatáčkou je výslednice gravitační a odstředivé síly stejná s osou symetrie vozidla, a proto řidič nevnímá žádné boční zatížení a na vnější kolo není přenášeno další zatížení.

Řízení úhlu naklonění může být přirozené (samočinné) nebo aktivní (nucené). Přirozené naklápění je nejjednodušší možností. Úhel naklonění určuje řidič naklopením svého těla. Aktivní způsob naklápění využívá hydraulický, pneumatický nebo elektrický aktuátor. Naklápěcí úhel je určen pomocí senzorů, které monitorují parametry, jako jsou např. rychlost, zrychlení nebo úhel natočení.

Naklápěcí tříkolová vozidla mají následující výhody: [18]

- Vysoká dynamická stability
- Nižší spotřeba
- Nízká hmotnost (ve srovnání s čtyřkolovým vozidlem)
- Dobré jízdní vlastnosti

- Použití úzkého rozchodu kol
- Nízké výrobní náklady
- Nižší torzní zatížení podvozku v porovnání se čtyřkolovými vozidly

Nevýhodami naklápěcích tříkolových vozidel jsou: [18]

- Citlivost na rozložení zatížení
- Jsou atypickými vozidly
- Vysoká rychlost může destabilizovat vozidlo

4.1 Tříkolová vozidla s aktivním naklápěním

K dosažení větší stability tříkolky je nutné navrhnout několik úprav. Měla by mít nainstalovaný systém aktivního naklápění, který se skládá z několika částí:

- Změna, nebo úprava ukotvení náprav
- Instalace krokového motoru
- Osazení vozidla senzory
- Naprogramování a instalace řídicí jednotky

4.1.1 Ukotvení skříně a kol

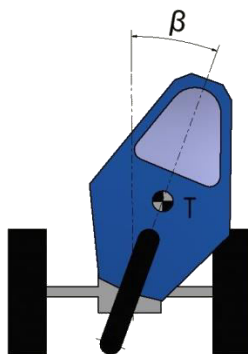
Ukotvení náprav vůči skříně je jeden z nejdůležitějších kroků. Podle typu ukotvení se mění fyzikální a jízdní vlastnosti. Řídicí jednotka se bude dále programovat podle typu zavěšení skříně.

Typy zavěšení skříně:

- **Kolo je při naklopení kolmo k vozovce**

Při ukotvení náprav, kdy jsou dvě kola při naklopení kolmo k vozovce, lze použít stejné pneumatiky jako na automobilech, tedy pneumatiky s čárovým stykem s vozovkou. Ukotvení udržuje pneumatiky stále kolmo k vozovce. Čárovým stykem lze přenést větší kroutící moment do vozovky.

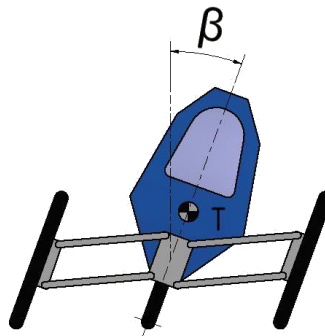
U naklápění systému se setkáváme s nevýhodou. Při velkém zatěžování v zatáčkách, mají kola snahu se vyvracet. Proto je nutná pevnější konstrukce a s tím spojená větší váha vozidla.



Obrázek 12 - Naklápění tříkolky I

- Všechna kola jsou při naklopení rovnoběžná

Ukotvení náprav, kde jsou všechna kola při naklopení rovnoběžná, je použito na školním prototypu ZČU. U ukotvení jsou použity pneumatiky s kruhovým profilem (pneumatiky známé z cyklistických kol nebo motocyklů). Pneumatiky mají bodový styk s vozovkou. Přenášejí menší kroutící moment na vozovku, ale jejich ukotvení je méně namáháno (dochází ke zmenšování axiálních sil).



Obrázek 13 - Naklopení tříkolky II

4.2 Prvky nutné pro ovládání vozidla s aktivním naklápěním

4.2.1 Aktuátor pro naklápění

Podle typu naklápěcího mechanismu může být realizován hydraulickým, pneumatickým nebo elektrickým pohonem.

Jako příklad elektrického pohonu může sloužit krokový motor. Krokový motor je synchronní stoj, který je napájený impulsy stejnosměrného proudu, který prochází cívkou statoru a vytváří magnetické pole postupným napájením pólových dvojic. Krokový motor má při nízkých otáčkách nespojitý chod, rotor se otáčí mezi stabilními polohami vždy o nějaký úhel, kterému se říká krok. Počet kroků udáván počtem pólových dvojic, nebo způsobem ovládání. Motor musí být řízen řídicí elektronikou, tzv. ovladačem krokového motoru. K mechanickému kontaktu dochází pouze v ložiskách. Motor tak disponuje vysokou mechanickou odolností a dlouhou životností. Nevýhodou je tzv. ztráta kroku. Ta vzniká při vysokém zatížení. Proto je vždy dobré zvolit krokový motor se správnými momentovými charakteristikami. [10]

Krokové motory lze použít pro přesné polohování a do určité polohy se nastavují samy. K tomu, aby v určité poloze zůstaly, není zapotřebí kódovač ani regulační smyčka se servopohonem. Jejich nevýhodou jsou vibrace, hluk při provozu a omezený provoz rychlosti. Jejich použití vyžaduje externí komunikaci využívající vícefázové řízení. [11]

Výhody krokového motoru: [23]

- Jediný zcela digitální motor
- Velmi jednoduše říditelný ze všech digitálních systémů
- Jednoduchý a levný
- Snadná údržba
- Velmi vysoký točivý moment

- Moment i při nulových otáčkách
- Nepotřebuje žádnou zpětnou vazbu
- Otáčí se oběma směry
- Kompatibilita výrobců

Nevýhodami krokového motoru jsou: [23]

- Extrémně citlivý při přetížení
- Nulová zpětná informace o skutečné poloze
- Necítí rozdíl při různých zatíženích
- Při přetížení ztratí pozici bez varování
- Limitovaná dynamika
- Startovní momenty nejsou vysoké
- Ztrácí moment při rostoucích otáčkách
- Hlučnost

Krokové motory mají čtyři různé konstrukce motorů – s variabilní reluktancí, s permanentními magnety, hybridní a disk magnet. Níže rozváděný prototyp ZČU je osazen motorem hybridním, který kombinuje vlastnosti vysokorychlostního motoru s variabilní reluktancí a motoru s permanentními magnety pro sílu a tlumení. Hybridní motory jsou složeny z osmi statorových pólů, které jsou opatřeny zuby. Kolem každého pólu statoru jsou dvě vyunutí, aby pole dle směru proudu mohlo být s jižním nebo severním pólem. [23]

4.2.2 Senzory

Senzor je zařízení, které snímá sledovanou fyzikální, chemickou nebo biologickou veličinu a dle určitého definovaného principu ji transformuje fyzikálním převodem na veličinu výstupní. Stav sledované veličiny snímá citlivá část senzoru občas označovaná jako čidlo a zpracovává vyhodnocovací obvod senzoru. Výstupní informací z vyhodnocovacího obvodu senzoru je elektrický signál, který je vyhodnocen elektronickým detektorem a lze ho dál zpracovat dalšími obvody. [12]

- **Gyroskop**

Gyroskop sloužil primárně pro studium pohybů Země a později našel uplatnění jako navigační zařízení pro letectví, autopilot, navigace lodí, letadel a vesmírných stanic či satelitů. Existuje několik typů gyroskopů – Cardanův závěs, mechanický, jaderný nebo MEMS. Je snímač používaný pro navigaci. Používá se v hlavně v letadlech. V přístroji se otáčí setrvačnick, který zachovává polohu osy rotace v inerciálním prostoru.

Gyroskop se využívá pro detekci a měření rotačního pohybu, stabilizační jízdní systémy, zpřesňování pozice GPS, stabilizaci obrazu a předmětů, zjišťování změny polohy nebo detekce pohybu, měření setrvačnosti, detekci převrácení př. u automobilu anebo k navádění raket, letadel či robotů. [13]

- **Akcelerometr**

Je elektromechanické zařízení, které měří zrychlení sil. Tyto síly mohou být statické jako tíhová síla, nebo dynamické - způsobeny pohybem nebo vibrováním akcelerometru.

U mnohých měření statického gravitačního zrychlení může zjistit úhel vychýlení vzhledem k zemskému povrchu. Při měření dynamických zrychlení může analyzovat směr, kterým se zařízení pohybuje. [14]

Akcelerometry se využívají v automobilovém průmyslu u senzorů airbagu či systému ESP, pro měření náklonu, měření zrychlení, měření odstředivé síly, měření vibrací, detekci otáčení, aj. [13]

4.2.3 Řídící jednotka

Řídící jednotka je počítač pro řízení systémů vozidla. Přijímá a vyhodnocuje data obdržené od snímačů. Vyhodnocené signály posílá do akčních členů. Řídící jednotka a akční členy spolu obvykle komunikují přes sériovou sběrnici. Vozidla se bez řídicí jednotky stávají nefunkčními. [15]

4.3 Existující tříkolová vozidla s aktivním naklápěním

Na trhu jsou dostupná tříkolová vozidla, která již mají instalováno aktivní naklápění vozidla. Mezi ně patří Carver One a Toyota i-Road.

Carver One je tříkolka s aktivním naklápěním. Zadní náprava je pevná a je k ní kloubově připojena kabina. Přední kolo je zavěšeno na vidlici podobně jako na motocyklu. Kabina i s řidičem se při průjezdu zatáčkou naklopí, čímž je průjezd jistější. Zadní kola dávají tříkolce stabilitu a nehrozí tak převrácení. Carver se sice řídí volantem, ale ten se může natočit jen jako řídítka u motocyklu.

Pohon zajišťuje čtyřválcový motor o objemu 670 cm³, přeplňovaný turbodmychadlem. Má výkon 68 HP a dokáže vyvinout rychlost 185 km/h. Spotřeba paliva se pohybuje kolem 6 litrů na 100 km. [16]



Obrázek 14 - CarverOne [36]

Toyota i-Road je tříkolka pro dvě osoby. Má menší půdorys než běžný motocykl. Přední náprava je naklápěcí a zadní hnaná. Při průjezdu zatáčkou nehrozí převrnutí, protože se celé vozidlo naklopí. Během naklopení jsou všechna tři kola k sobě rovnoběžná. Vozidlo se ovládá dvěma pedály a volantem. Toyota dokáže vyvinout rychlost 45 km/h, tedy ideální pro držitele řidičského průkazu AM. [17]



Obrázek 15 - Toyota i-Road [37]

5 Prototyp ZČU

Na půdě Západočeské univerzity už řadu let probíhá vývoj tříkolky s aktivním naklápěním (viz obrázek 16), který již prošel řadou konstrukčních změn a vylepšení. Výbava byla navržena tak, aby vyhovovala všem požadovaným parametrům vozidla. Jednomístná tříkolka je osazena dvěma koly vpředu a jedním vzadu. Jedná se o cyklistická hliníková kola, která mají rozchod mezi předními koly 890 mm (šířka tříkolky). Délka tříkolky je 2240 mm. [20]



Obrázek 16 - Prototyp tříkolky ZČU

Jeden z prvních účastníků projektu byl Petr Vlasák [18], který v diplomové práci popisuje dynamické charakteristiky v simulačním programu ADDAMS. Součástí práce je návrh úpravy podvozku, aby bylo možné tříkolku osadit krokovým motorem, prostřednictvím kterého se tříkolka naklápí. Navržené díly byly překontrolovány pevnostní analýzou, aby vydržely požadovaná zatížení.

Dalším vývojářem projektu se stal Jan Vavřík [19], jehož disertační práce popisuje výrobu navržených dílů a jejich kompletaci. Dále návrh elektropohonu a dalších elektronických součástí včetně provedených simulací a jejich vyhodnocení.

Poslední úpravy na tříkolce zrealizoval Yaroslav Pletněv [20], který se v práci věnuje návrhu algoritmu pro nucené naklápění tříkolky. Výsledkem jeho práce je příprava páky umístěné na řídicích, která ovládá naklápění tříkolky do stran podle potřeb řidiče.

5.1 Výbava

Prototyp je osazen motorem SX34-2970 Microcon a planetovou převodovkou Eisele EPL-SA 84. Motor je hybridní dvoufázový krokový, který má dostatečný točivý moment. Motor je schopen při napájení 48 V a 200 ot./min dodávat točivý moment cca 4,0 Nm.



Obrázek 17 - Krokový motor SX34-2970 [18]

Výpočet momentu na výstupu převodovky a výpočet otáček na výstupu je uveden v diplomové práci Vlasáka Petra [18].

Parametry motoru – SX34-2970	
Statický moment [Nm]	7
Jmenovitý proud [A]	2,9 (sériově)/5,8(paralelně)
Indukčnost [mH]	16,4 (sériově)/4,1 (paralelně)
Odpor [Ω]	1,5 (sériově) / 0,375 (paralelně)
Moment setrvačnosti rotoru [$\text{kgm}^2 \times 10^{-3}$]	0,18
Hmotnost [kg]	3

Tabulka 1 - Parametry motoru SX34-2970 [21]

Parametry převodovky Eisele EPL-SA 84	
Převodový poměr i	35
Nominální moment [Nm]	100
Maximální dovolený moment [Nm]	216
Účinnost	0,92
Hmotnost [kg]	3,1
Maximální radiální zatížení hřídele [N]	1300

Tabulka 2 - Parametry převodovky Eisele EPL-SA 84 [18]

Krokový motor pro řízení potřebuje vlastní řídicí jednotku. Její stávající označení je SX34-2970. Výrobce desky AutoDriver je SparkFun, která je založena na driveru

krokového motoru STMicro L6470 dSPIN. Driver umožňuje ovládání napětí krokového motoru. Regulátor má oscilátor s frekvencí 16 MHz, což umožňuje samostatně provádět příkazy pohybu.

Hnacím motorem je elektromotor MagicPie II, který je zařazen mezi nejlepší motory určené pro elektrokolo. Motor nemá zabudovanou řídicí jednotku. Motor je možné napájet max. 72 V a dosahuje max. rychlosti až 65 km/h. Při 48 V dosahuje rychlosti 45 km/h. [22]

5.1.1 Senzory

V současné době je experimentální tříkolka vybavena pouze senzory vestavěnými v pohonu zadního kola (Hallowy sondy) a potenciometrem na řídkách, který slouží k nastavení rychlosti jízdy (posílá informaci do řídicí jednotky pohonu tříkolky).

Pro realizaci je potřeba vozidlo dovybavit následujícími senzory:

- Akcelerometr – používaný pro snímání bočního zrychlení působící na vozidlo a aktuálního úhlu naklopení
- Potenciometr pro pasivní naklápění – ovládací prvek pro realizaci pasivního naklápění (podle návrhu Y. Pletněva)
- Potenciometr na řídkách – měření úhlu natočení volantu, nebo alternativně na řízení - měření natočení kol.

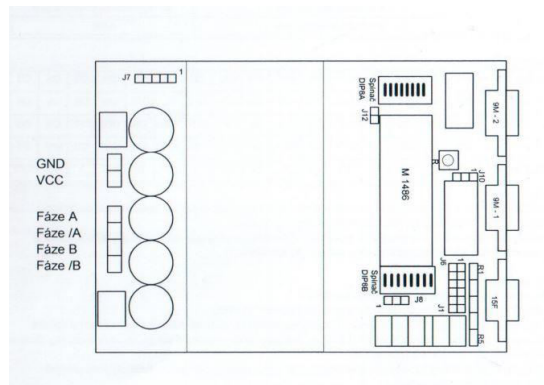
5.1.2 Driver



Obrázek 18 - Driver Microcon CD40M

Ovládání krokového motoru bude prováděno driverem Microcon CD40M navrženým v práci P.Vlasáka. Parametry driveru jsou uvedeny v práci [18].

Driver umožňuje řídit krokový motor na základě povelů předávaných z řídicí jednotky přes sériovou linku. [27]



Obrázek 19 - Schéma driveru Microcon CD40M

5.2 Výpočty potřebné v programu

5.2.1 Úhel natočení výslednice zrychlení v akcelerometru

Výpočet pro akcelerometr pololu acc01a:

Akcelerometr měří v rozsahu od -2g do +2g.

- pro hodnotu -2g dostane řídicí systém hodnotu 190
- pro hodnotu +2g dostane řídicí systém hodnotu 0

- **Výpočet zrychlení**

a...akcelerace

k...naměřená hodnota

g... gravitační konstanta

$$a = \left(\frac{k \cdot 4}{190} - 2 \right) \cdot g$$

- **Výpočet úhlu výslednice zrychlení v rovině XZ**

a_x ...akcelerace ve směru x

a_z ...akcelerace ve směru z

φ ...úhel výslednice zrychlení

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{a_x}{a_z} \right)$$

5.2.2 Výpočet maximálního úhlu výslednice zrychlení v rovině XZ

Pro výpočet klopného momentu je třeba znát přesnou polohu těžiště a rozměry vozidla. Tyto údaje byly převzaty z práce Petra Vlasáka.

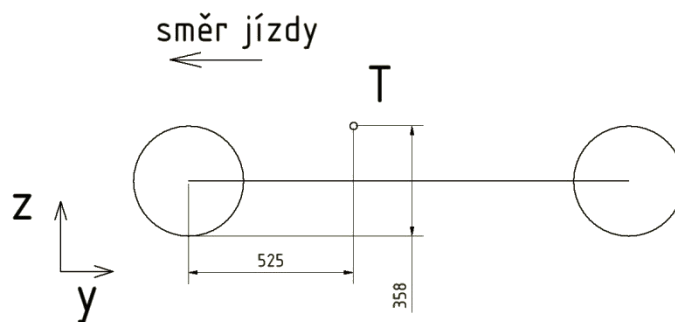
$$T_x = 0 \text{ mm}$$

$$T_y = 525 \text{ mm}$$

$$T_z = 358 \text{ mm}$$

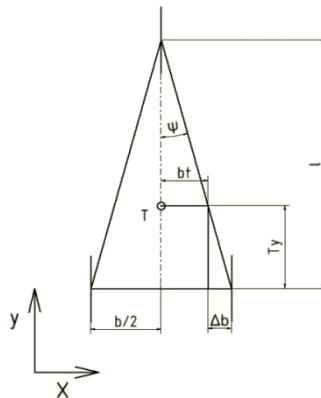
$$l = 1580 \text{ mm}$$

$$b = 890 \text{ mm}$$



Obrázek 20 - Schéma tříkolky v rovině YZ

- výpočet úhlu ψ



Obrázek 21 Schéma tříkolky v rovině XY

$$\psi = \arctg\left(\frac{\frac{b}{2}}{l}\right) = \arctg\left(\frac{\frac{890}{2}}{1580}\right) = 15,73 = 15^{\circ}44'$$

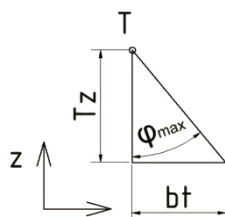
- Výpočet šířky Δb

$$\Delta b = tg(\psi) \cdot T_y = tg(15^\circ 44') \cdot 525 = 147,9 \text{ mm}$$

- Výpočet šířky b_t

$$b_t = \frac{b}{2} - \Delta b = \frac{890}{2} - 147,9 = 297,1 \text{ mm}$$

- Výpočet maximálního úhlu výslednice zrychlení v rovině XZ



$$\varphi_{max} = \arctg\left(\frac{b_t}{T_z}\right) = \arctg\left(\frac{297,1}{358}\right) = 39,69 = 39^\circ 41'$$

φ_{max} ...maximální úhel výslednice zrychlení

× Obrázek 22 - Vyobrazení maximálního úhlu výslednice v rovině XZ

5.2.3 Výpočet maximálního odstředivého zrychlení na vodorovné vozovce

$a_{x_{max}}$...maximální zrychlení v ose X

$$a_z = g$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{a_x}{a_z}\right)$$

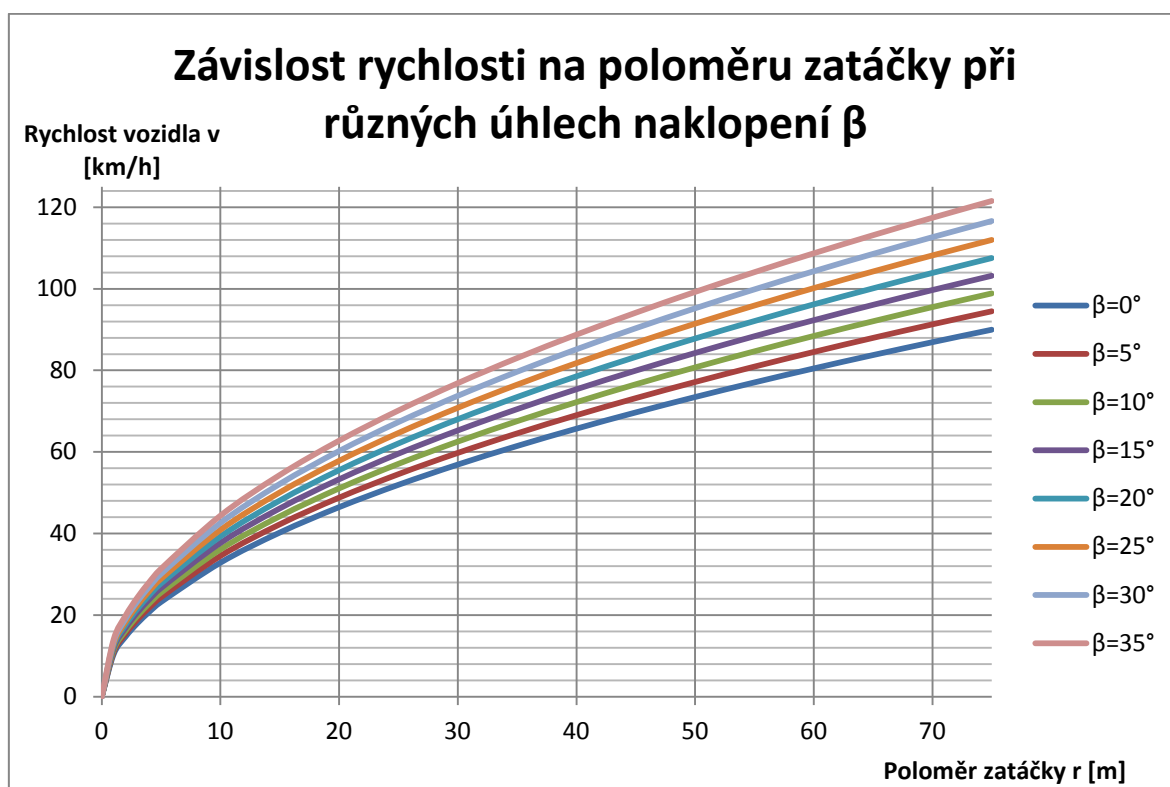
$$a_{x_{max}} = tg(\varphi_{max}) \cdot a_z = tg(39^\circ 41') \cdot 9,81 = 8,14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

5.2.4 Výpočet maximální rychlosti při průjezdu zatáčkou

v...rychlost vozidla

$$v = \sqrt{tg(\varphi) \cdot g \cdot r}$$

Na grafu 1 je vyobrazena maximální rychlost při různých úhlech naklonění v závislosti na poloměru zatáčky. Maximální rychlost je mezní stav, při kterém ještě nepůsobí klopný moment vznikající od výslednice gravitační a odstředivé síly. Po přesáhnutí maximální rychlosti se začne klopný moment zvětšovat. Z tříkolky se stane nestabilní vozidlo, proto je lepší tomuto stavu zabránit. Po naklonění tříkolky dojde k posunutí těžiště, a proto výslednice zrychlení může působit pod větším úhlem. Toto opatření umožní vjet do zatáčky větší rychlostí. Úhel β znázorněný v grafu je úhel, o který se tříkolka naklopí. Tato úvaha zanedbává přenos sil zabraňujícím smyku vozidla, protože každá vozovka má jiné adhezní vlastnosti.



Graf 1- Závislost rychlosti na poloměru zatáčky při různých úhlech naklonění

5.3 Ovládání tříkolky

Tříkolka je ovládána pomocí ovládacích prvků na řídicích vozidla a na připojeném panelu.

- Řídítka - ovládání směru jízdy
- Páčka plynu - ovládání rychlosti vozidla
- Páčka naklápění - ovládání pasivního naklápění
- Tlačítka - pro ovládání panelu

Signály z ovládacích prvků a senzorů jsou zpracovány řídicí jednotkou, která vyhodnotí potřebný regulační zásah a pošle ho po sériové lince do řídicí jednotky (driveru) krokového motoru pro ovládání náklonu.

Aktuální stavy významných veličin jsou zobrazovány jednak polohou přepínačů, jednak jsou vizualizovány na displeji na panelu.

5.3.1 Hlavní řídicí jednotka

Hlavní řídicí jednotka je "mozek" celého systému. Pomocí vstupů dostává informace, které musí vyhodnotit a po vyhodnocení posílá po výstupu pokyny pro akční členy.

- **Vstupy**

Akcelerometr - Posílá analogový signál třemi vstupy do řídicí jednotky a udává aktuální zrychlení ve třech rovinách.

Páčka pro pasivní naklápění - Je potenciometr, který posílá jedním vstupem analogový signál do řídicí jednotky. Tento signál ovládá přímo řidič podle vlastní potřeby.

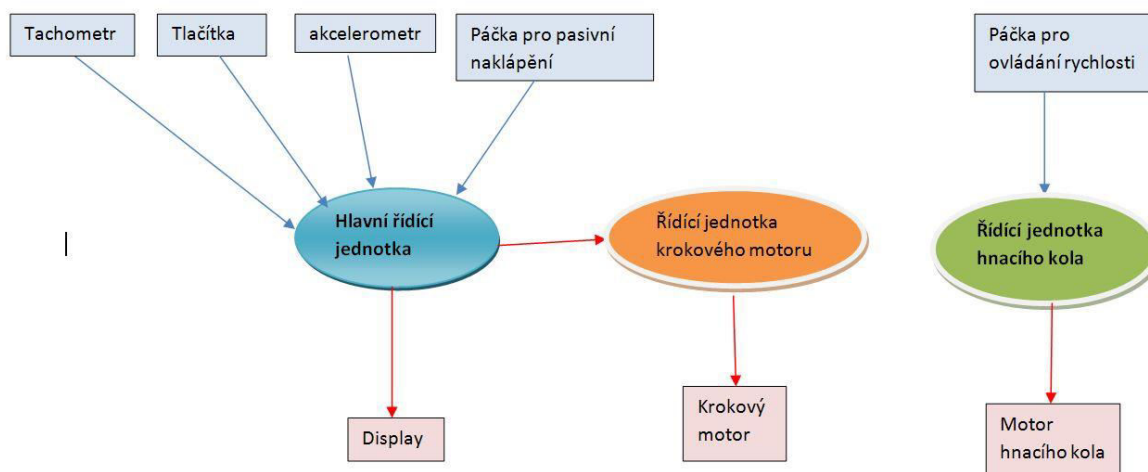
Tlačítko - Posílá do řídicí jednotky dlouhodobě hodnotu *ANO/NE*. Pomocí tlačítek lze nastavit uživatelský režim vozidla

Tachometr - Posílá signál do řídicí jednotky. Informace z tachometru je potřebná pro určení aktuální rychlosti vozidla. Tachometr je realizován pomocí počítání otáček kola známého poloměru - počítání pulsů generovaných Halloovou sondou (magnet na výpletu kola). Alternativně by bylo možné získat informaci o rychlosti z Hallových sond pohonu zadního kola.

- **Výstupy**

Display - Dostává z řídicí jednotky pokyny k zobrazení informací důležitých pro uživatele. Jedná se o 7 digitálních výstupů z řídicí jednotky.

Řídicí jednotka krokového motoru - Je zařízení, které má naprogramovaný vlastní program a je ovládáno jedním digitálním výstupem z řídicí jednotky (sériovou linkou).



Obrázek 23 - Schéma ovládání akčních členů tříkolky

5.3.2 Algoritmus naklápěcího systému

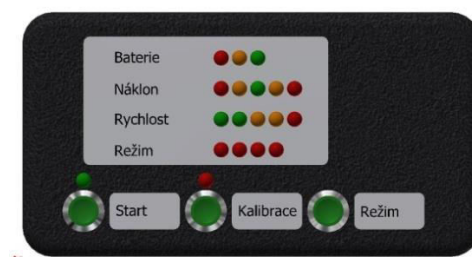
- **Start** - spuštění programu
- **Měření zrychlení** - naměření 5 hodnot ve směru X a Z
- **Výpočet průměru** - výpočet aritmetického průměru z naměřených hodnot
- **Výpočet úhlu** - ze složek zrychlení se vypočte úhel náklonu
- **Směr naklopení** - určení směru naklopení oproti poslední hodnotě
- **Pokyny** - poslání pokynů do driveru krokového motoru po sériové lince
- **Opakování programu** - po dokončení těchto operací se program stále opakuje
- **Konec** - ukončení programu

5.4 Návrh ovládacího panelu

- **Vizualizace pomocí LED kontrolkek**

Ovládací panel se skládá z dvoudílného plastového pouzdra. Pouzdro je ze dvou částí, které do sebe zapadají. Uvnitř pouzdra je upevněné Arduino MEGA, ve kterém je nahraný ovládací program.

Ovládací panel s vizualizací pomocí LED kontrolkek je výrobně obtížnější varianta. Svrchní část panelu má mnoho otvorů pro tlačítka a LED diody. Výrobní čas je delší než u následující varianty, a proto i vyšší cena. Z ergonomického hlediska není panel moc přehledný a uživatel by se v něj jen těžko orientoval. Například ukazatel rychlosti by měl být raději číselný, aby mohl řidič dodržovat rychlost jízdy v oblastech s omezenou rychlostí.



Obrázek 24 - Vizualizace pomocí LED kontrolkek

- **Vizualizace pomocí displeje**

Ovládací panel se skládá z dvoudílného plastového pouzdra. Pouzdro je ze dvou částí, které do sebe zapadají. Uvnitř pouzdra je upevněné Arduino MEGA, ve kterém je nahraný ovládací program.

Ovládací panel s vizualizací pomocí displeje je výrobně levnější varianta. Svrchní část panelu má 3 otvory pro tlačítka a jeden na displej. Výrobní čas je kratší než u předchozí varianty, a proto i nižší cena. Z ergonomického hlediska je panel přehlednější. Například ukazatel rychlosti je číselný, aby mohl řidič dodržovat rychlost jízdy v oblastech s omezenou rychlostí.



Obrázek 25 - Vizualizace pomocí displeje

- **Vizualizace pomocí aplikace Android**

Ovládací panel s vizualizací pomocí aplikace android je nejefektivnější a nejlevnější varianta. V dnešní době vlastní chytrý telefon velké procento populace a tak není nic snadnějšího než si na internetu stáhnout příslušnou aplikaci. Komunikace mezi Arduinem a mobilním telefonem je přes Bluetooth signál. Před jízdou musí mobilní telefon zahájit komunikaci s řídicí jednotkou. Mobilní telefon je připevněn v držáku na řídicích. Po ukončení jízdy se mobilní telefon vyjme z držáku a ukončí se Bluetooth komunikace.

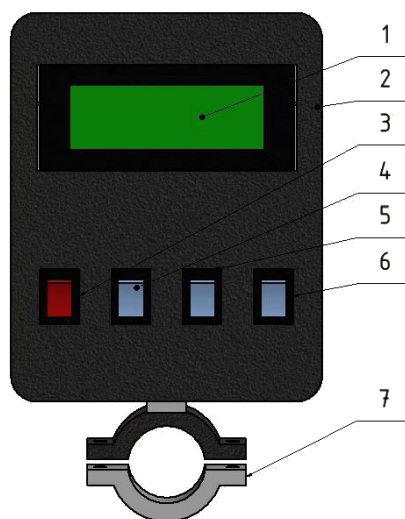


Obrázek 26 - Vizualizace pomocí aplikace Android

5.4.1 Panel navrhnutý na tříkolku

Panel je dvoudílné plastové pouzdro (2), ve kterém jsou umístěny ovládací prvky. Koncept panelu je navržen tak, aby byla možná výroba na 3D tiskárně. K panelu je přišroubován držák, který je upevněn k řídicí tyči.

V pouzdru je upevněn displej (1) tak, aby byl pro řidiče dobře viditelný a příliš nevyčníval z pouzdra. Pod displejem jsou umístěná 4 tlačítka, kterými se jednotka ovládá program řídicí jednotky. Tlačítko (3) slouží ke spouštění celého systému. Má červenou barvu, aby bylo vzhledově odlišeno od ostatních. Tlačítko (4) slouží k přepínání mezi stavem bez aretačního čepu a s aretačním čepem. Tlačítko (5) přepíná mezi aktivním a pasivním naklápěním. Poslední tlačítko (6) vypíná a zapíná kalibrační cyklus.



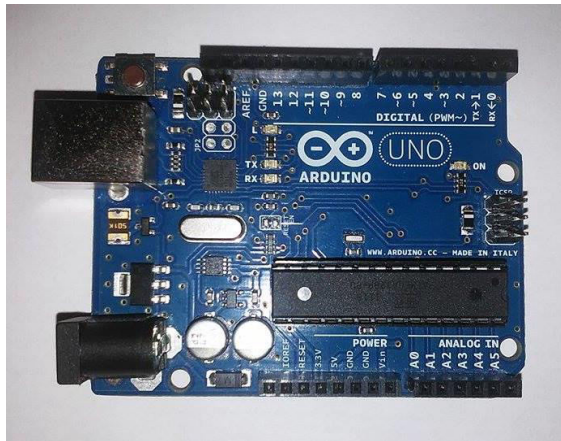
Obrázek 27 - Ovládací panel

6 Testovací zařízení

Při testech byla použita zařízení, která jsou vhodná pro laboratorní účely. Mají menší rozměry a hmotnost než zařízení na tříkolce a jdou napájet pouze přes USB port. Tato zařízení byla propojována kabely a nepájivými poli pro snadnější zapojení a snadnější změnu zapojení.

6.1 Arduino Uno (Mega)

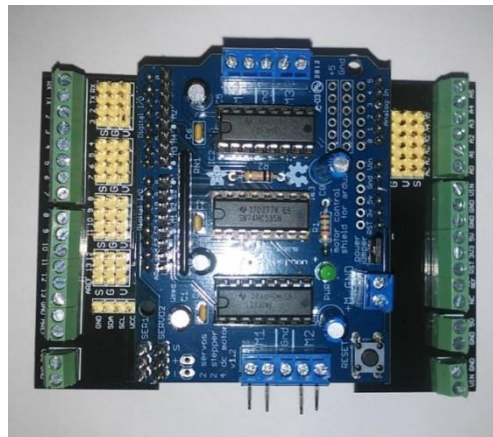
Je prototypová deska založená na mikroprocesorech Atmel. Do Arduina lze nahrát program z počítače přes integrovaný USB port. Po nahrání algoritmu může Arduino pracovat samostatně bez připojení k PC. Arduino má digitální a analogové vstupy/výstupy. Arduino UNO viz Obrázek 28 - Arduino UNO má 6 analogových a 14 digitálních pinů. Má omezený počet vstupů/výstupů, a proto je pro složitější úlohy výhodnější používat Arduino MEGA, které má 54 digitálních a 16 analogových pinů.



Obrázek 28 - Arduino UNO

6.2 Motor shield

Adafruit motor shield je zařízení, které se dá připojit na Arduino. Je určeno pro ovládání stejnosměrných motorů, servomotorů a krokových motorů. Tento shield lze externě napájet 12 V pro lepší charakteristiky motoru. Lze k němu připojit 2 servomotory, 4 stejnosměrné motory, nebo 2 krokové motory (unipolární nebo bipolární) s jedinou cívkou, dvojitou spirálou, prokládané nebo mikro-krokováním. [25]

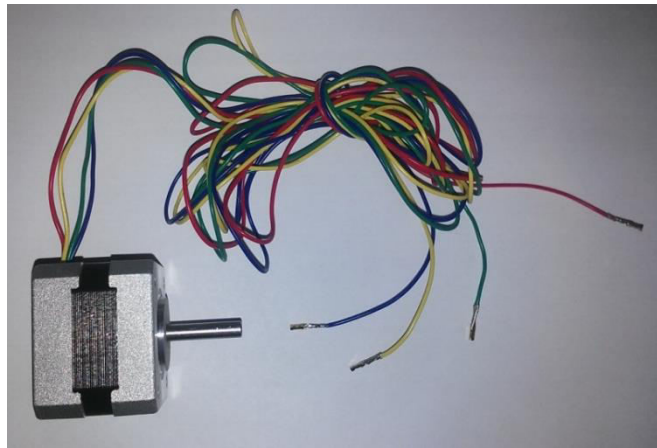


Obrázek 29 - Adafruit motorshield

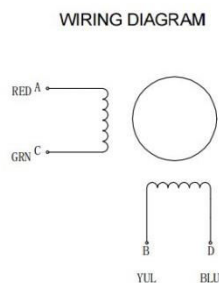
6.3 krokový motor

Pro testování algoritmů „na stole“ byl využit malý krokový motor s následujícími parametry (viz Obrázek 30 - Krokový motor):

- Úhel kroku: $1,8^\circ$
- Jmenovité napětí: 12V
- Jmenovitý proud: 0.33A [26]



Obrázek 30 - Krokový motor



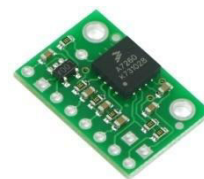
Obrázek 31 - Schéma zapojení vinutí krokového motoru

6.4 Akcelerometr

Akcelerometr Pololu acc01a je akcelerometr s nastavitelnou citlivostí od $\pm 1,5 \text{ g} \pm 6 \text{ g}$.

Specifikace

- Rozměry: 0,8"x 0,55"x 0,11"
- Provozní napětí: 3,3 - 16 V
- Napájecí proud: 1,35 mA
- Výstupní formát: 3 analogové napětí (jeden signál pro každou osu)
- Rozsah výstupního napětí: 0-Vcc (0-3,3 V pro VIN > 3,3 V)
- Rozsah citlivosti: $\pm 1,5 \text{ g}$, 2g, 4g, nebo 6g (volitelný pomocí kolíků GS1 a GS2; výchozí hodnota je $\pm 6 \text{ g}$)
- Hmotnost bez hlaviček kolíků: 0,030 unce (0,85 g) [24]



Obrázek 32 - Akcelerometr [40]

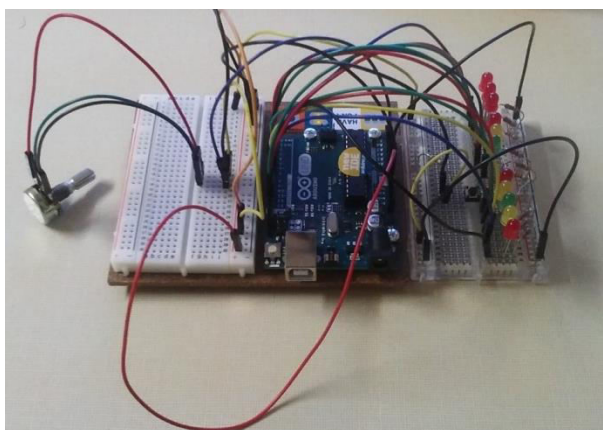
7 Testovací provedení

Testování zapojení řídicí jednotky, senzorů, ovládacích prvků a zobrazovačů nebylo prováděno na vozidle (vozidlo nebylo dostupné), ale v laboratorních podmínkách na modelovém zařízení.

Na modelu byly vyzkoušeny všechny potřebné dílčí kroky, tj. čtení signálů ze senzorů a ovládacích prvků, zobrazování aktuálního stavu vozidla, komunikace po sériové lince s jinou řídicí jednotkou a ovládání krokového motoru přes sériovou linku. Tyto dílčí kroky jsou popsány v následujícím textu.

7.1 Test kontrolky ovládacího panelu

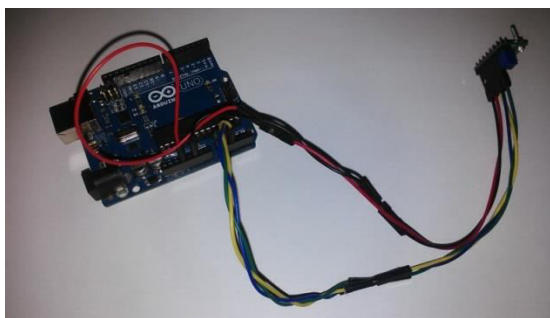
Na Obrázku 33 - Ukázka zapojení panelu z LED diod je ukázka zapojení ovládacího panelu. V tomto zapojení bylo odzkoušeno zapojení a algoritmus pro ovládání kontrolky. Signál pro kontrolky na určení kapacity baterie a aktuálního náklonu byl simulován pomocí potenciometru. Přepínání mezi režimy bylo úspěšně odzkoušeno pomocí tlačítka. Test proběhl úspěšně a kontrolky plní funkci jakou mají.



Obrázek 33 - Ukázka zapojení panelu z LED diod

7.2 Kalibrace akcelerometru

Na správnou kalibraci akcelerometru bylo zapotřebí provést měření gravitačního zrychlení ve směrech xyz a $-x-y-z$. Byl navrhnut kód určený pouze pro kalibraci akcelerometru. Ukázka programu v příloze 1. Na Obrázek 34 - Ukázka zapojení akcelerometru je výpis hodnot z jednotlivých měření. Bylo provedeno celkem 6 měření v šesti výchozích polohách akcelerometru.



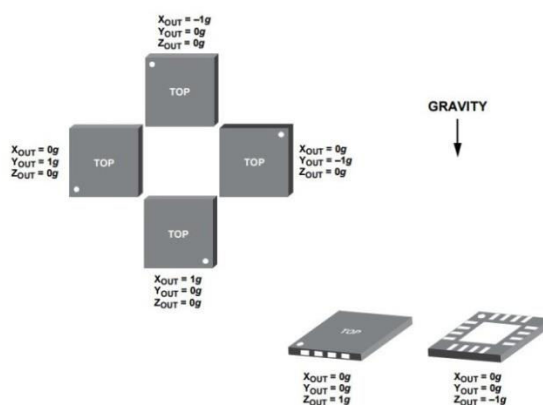
Obrázek 34 - Ukázka zapojení akcelerometru

Z experimentálního měření bylo zjištěno, že pro hodnotu g systém vypíše číslo 45. Pro hodnotu $-g$ číslo 135. Samozřejmě "g" odpovídá hodnotě gravitačního zrychlení $9,81 \text{ ms}^{-2}$. Systém vypíše hodnotu 90, když nenaměří žádné, tedy nulové zrychlení. Pro určení rozsahu akcelerometru je třeba znát nejmenší a největší možnou hodnotu. V tomto případě nejmenší hodnotou je 0. Potom největší hodnotou bude číslo 190. V normálním případě by maximální hodnota byla 255. To ale platí pro napětí 5V. Experimentální akcelerometr měří při 3,3 V proto je maximální hodnota nižší.

Výstup v programu	0	45	90	135	190
zrychlení	2g	g	0	-g	-2g

Tabulka 3 - hodnoty akcelerometru

Na tomto obrázku jsou vidět výchozí polohy akcelerometru pro kalibraci.



Obrázek 35 - Polohy kalibračního natočení akcelerometru [39]

mereni cislo 1	X = 125	Y = 92	Z = 87
mereni cislo 2	X = 85	Y = 93	Z = 133
mereni cislo 3	X = 44	Y = 96	Z = 89
mereni cislo 4	X = 84	Y = 88	Z = 45
mereni cislo 5	X = 89	Y = 132	Z = 89
mereni cislo 6	X = 79	Y = 50	Z = 93

Obrázek 36 - Výpis z kalibračního programu

Výsledkem měření je zjištění maximálního rozsahu $\langle -2g; 2g \rangle$.

7.3 Test displeje

Při vývoji byl proveden test displeje, jeho správné zapojení a funkčnost. Byl sepsán kód, který znázorňuje funkčnost jednotlivých oblastí na displeji, viz příloha 1 (test displeje). Jas displeje byl ovládán potenciometrem. Se změnou signálu se přebarvují políčka v prvním a druhém řádku.

První řádek *BAT* znázorňuje stav nabití baterie pomocí 3 černých polí, která se s úbytkem napětí v baterii přebarvují na šedivá. Na stejné řádce je vidět aktuální doba jízdy. Uživatel tak může zjistit, jak dlouho mu baterie přibližně vydrží, než se vybitje.

Druhý řádek *NAK* ukazuje aktuální stav náklonu skříně vůči podvozku. Prostřední pole v panelu náklonu se po kalibraci vyčerní a svou barvu již nemění. Podle naklonění tříkolky se postupně vybarvují pole buď směrem doprava, nebo doleva. Pokud tříkolka dosáhne maximálního naklonění, rozsvítí se černě jedna z krajních polí oddělené čarou.

Třetí řádek *MOD* zobrazuje jaký režim je aktuálně spuštěn. Uživatel si bude moci vybrat mezi těmito režimy:

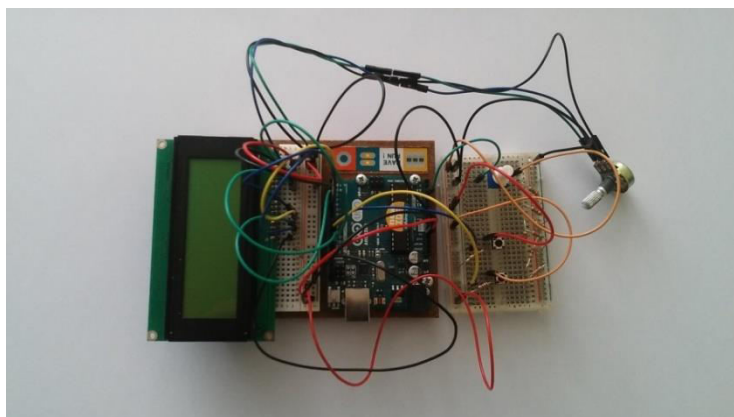
- Aktiv - režim aktivního naklápění
- Pasiv - režim pasivního naklápění
- OFF - režim bez naklápěcího systému

Ve čtvrtém řádku je vypisována aktuální rychlost vozidla v kilometrech za hodinu. Ve zkušebním kódu je vypisována náhodná rychlost pomocí jednoduchého generátoru čísel.



Obrázek 37 - Ukázka displeje

Ukázka zapojení displeje

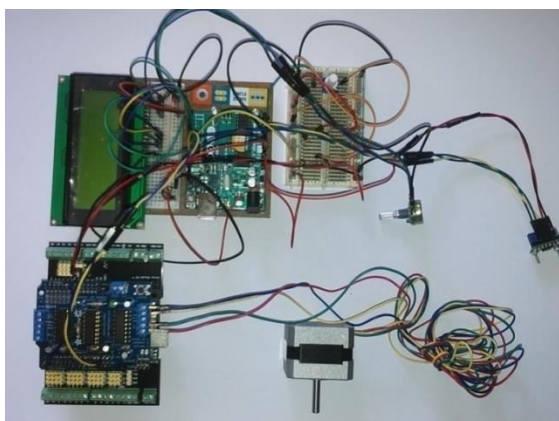


Obrázek 38 - Ukázka testovacího zapojení displeje

7.4 Test krokového motoru

Test krokového motoru byl nejobtížnější test. Vyžadoval poměrně složité zapojení a dva zdrojové kódy viz příloha 1 (test krokového motoru a test aktivního naklápění). Při testu byly propojeny dvě řídicí jednotky sériovou linkou.

Hlavní řídicí jednotka vyhodnocuje data z akcelerometru. Podle typu změny akcelerace vyšle textový signál. Tento signál přijme druhá jednotka a vyhodnotí signál podle předdefinované knihovny signálů. Poté je provedena operace (potočení krokového motoru doprava nebo doleva o určitý počet kroků o určité rychlosti).



Obrázek 39 - Ukázka testovacího zapojení krokového motoru

7.5 Aplikace na vozidlo

Jednotlivé dílčí kroky byly provedeny s pozitivními výsledky. Následnými kroky by mělo být sloučení jednotlivých programů a následné odzkoušení na tříkolce. Tříkolku je nutné dovybavit schránkou pro driver krokového motoru, ovládacím panelem umístěným na říditka a správně umístěným akcelerometrem.

8 Závěr

Práce se zabývá použitím alternativních vozidel a alternativních dopravních systémů. Skládá ze dvou hlavních částí – rešeršní a praktické.

V rešeršní části je proveden stručný přehled historického vývoje na základě literárních zdrojů. Jsou zmíněny některé výhody a nevýhody těchto vozidel. Rešerše je orientována především s ohledem na následující téma praktické části a to naklápěcí tříkolová vozidla.

V praktické části práce je popsán prototyp experimentálního naklápěcího tříkolového vozidla, vyvíjeného na KKS, ZČU. Cílem praktické práce bylo rámcově navrhnout a podle možností zrealizovat systém pro aktivní naklápění tříkolky.

- Byl popsán model vozidla a základní výpočetní vztahy pro realizaci aktivního naklápění.
- Dále bylo navrženo rozšíření vozidla o senzory pro detekci úhlu naklopení, směru jízdy, rychlosti jízdy a ovládací panel pro volbu režimu a vizualizaci aktuálního stavu. Snahou bylo začlenit do systému i režim pasivního naklápění (Pletněv, BP, ZČU, 2015) a režim bez naklápění.
- Na základě předchozího byl vytvořen program pro desku Arduino Uno (alternativně Mega), která bude použita jako hlavní řídicí jednotka.
- V dílčích částech programu byla věnována pozornost zpracování hodnot z akcelerometrů, potenciometrů a ovládacích prvků, vizualizaci aktuálního stavu od jednoduchých LED indikátorů až po LCD display zobrazující aktuální hodnoty.
- Dílčí části programu byly otestovány v režimu mimo vozidlo („na stole“). Některé části systému vozidla (řídicí jednotka pohonu naklápění a krokový motor) musely nahrazeny modelem a testování probíhalo na tomto modelu. Snahou bylo zachovat podstatné charakteristiky, aby byla usnadněna přenositelnost programů na vozidlo (tj.např. komunikace přes sériovou linku, apod.). Programy jsou uvedeny v příloze práce.
- Byl vytvořen konstrukční návrh finální verze ovládacího panelu, který bude následně vyroben na 3D tiskárně z ABS plastu a použit na experimentálním vozidle.

Zadání bakalářské práce bylo splněno.

Témata k dopracování:

Z různých důvodů (omezený rozsah práce a čas na její zpracování, nedostupnost a nefunkčnost vozidla a některých jeho komponent, omezena dostupnost součástí pro realizaci, apod.) zůstala některá témata nedokončena. Následující kroky by se měly soustředit především na:

- Sloučení jednotlivých dílčích programů do jednoho celku a otestování jeho funkcí.
- Záměnu testovací jednotky pro řízení pohonu naklápění jednotkou Microcon. Program je na tento krok připraven, je potřeba jen zajistit vhodnou montáž jednotky do vozidla (včetně ochrany proti vodě, prachu, apod.) a otestovat funkci.
- Ověření funkčnosti programu za provozních podmínek (vliv rušení, vibrací, přesnost senzorů, apod.)
- Zdokonalení některých dílčích úloh, např. získávání rychlosti vozidla ze senzorů integrovaných v pohonu zadního kola, zdvojený zdroj energie (oddělení pohonu a naklápění) a další.

Použitá literatura a zdroje

1. KNIŽNÍ PUBLIKACE:

[2] RILEY, R. *Alternative cars in the 21th century*. Warrendale, PA: SAE, 2004. ISBN 978-0-7680-0874-6. p. 308 – 366

[18] - VLASÁK, Petr. *Aktivně naklápěcí podvozek tříkolového vozidla*. Plzeň, 2012. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Roman Čermák, Ph.D.

[19] - VAVŘÍK, Jan. *Systém pro naklápění úzkého tříkolového vozidla*. Plzeň, 2013. Disertační práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Roman Čermák, Ph.D.

[20] - PLETNEV, Yaroslav. *Alternativní vozidla pro individuální přípravu osob*. Plzeň, 2015. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Roman Čermák, Ph.D.

2. ELEKTRONICKÉ ZDROJE

[1] - VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel* [online]. 2004, 13 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-04-212-224.pdf>

[3] - HOFMAN, Jiří. *ComplexTrans* [online]. 49 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <https://www.fd.cvut.cz/projects/k620x1c/CT-CZE.pdf>

[4] - GROHMANN, Jan. *SkyTran: Městská doprava blízké budoucnosti*. In: *HYBRID.CZ* [online]. 2013 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/skytran-mestska-doprava-budoucnosti>

[5] - HORČÍK, Jan. *Hyperloop: Elon Musk odhalil podrobnosti nové dimenze dopravy*. In: *HYBRID.CZ* [online]. 2013 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/hyperloop-elon-musk-odhalil-podrobnosti-nove-dimenze-dopravy>

[6] – VŠETEČKA, Roman. *Dopravní systém Hyperloop vás mezi městy svezí na vzduchovém polštáři*. In: *Technet.CZ* [online]. 2013 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/nadzukova-doprava-hyperloop-elon-musk-dy2-tec_tecnika.aspx?c=A130813_013635_tec_tecnika_vse

[7] - *Šířkové uspořádání místních komunikací* [online]. ČSN 73 6110, 2011 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.cadwiki.cz/Print.aspx?Page=Sirkove-usporadani-mistnich-komunikaci>

[8] - *Historie a použití kola*. In: *Kola.cirkl* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.kola-cirkl.cz/historie-a-pouziti-kola/t-343/>

[9] - *Kočkopes jménem dálník*. In: *Hospodářské noviny* [online]. 2004 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://archiv.ihned.cz/c1-14470310-kockopes-jmenem-dalnik>

[10] – ŘEZÁČ, Kamil. *Krokové motory*. *Robotika* [online]. 2002 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <https://robotika.cz/articles/steppers/cs>

[11] - *ZÁKLADNÍ PRINCIPY KROKOVÝCH MOTORŮ*. *E-konstruktor* [online]. 2013 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://e-konstruktor.cz/novinka/zakladni-principy-krokovych-motoru>

- [12] - HUBÁLEK, Jaromír. *Mikrosenzory a mikroelektromechanické systémy*[online]. <http://www.umel.feec.vutbr.cz/bmms/prednasky/BMMS-> [cit. 2016-05-13]. Ústav mikroelektroniky.
- [13] - VYLEGALA, Pavel. *Gyroskopy, akcelerometry a infračervené snímače: ROBOTI*[online]. 2014 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: http://www.sse-najizdarne.cz/projekty/roboti/dokumenty/v_prez_ss_5.pdf
- [14]- *Prostředky automatického řízení*, Vysoká škola báňská [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~jur286/prostredky_aut_rizeni/preklad.htm
- [15] - Co je řídicí jednotka automobilu, jak funguje a k čemu je určena? In: *Camp performance* [online]. 2014 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.mereni-vykonu.cz/clanek/co-je-ridici-jednotka-automobilu-jak-funguje-a-k-cemu-je-urcena>
- [16] - ONDRÁŠIK, Radek. Carver One: výkyvné moto-auto. In: *Autorevue.cz* [online]. 2007 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: http://www.autorevue.cz/carver-one-vykyvne-moto-auto_3
- [17] - ČERMÁK, Ladislav. Toyota i-Road: první dojmy. In: *Auto.cz* [online]. 2014 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: http://www.auto.cz/toyota-i-road-prvni-jizdni-dojmy-83139?utm_source=auto.cz&utm_medium=copy
- [21] - Technické parametry krokových motorů řady SX34. *Microcon* [online]. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.microcon.cz/pdf2014/motorySX.pdf>
- [22] - MagicPie motor. *Elektrokola-dh* [online]. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.microcon.cz/pdf2014/motorySX.pdf>
- [23] - Princip - krokový motor. *Pohonnatechnika.cz* [online]. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/krokovy-motor>
- [24] - Freescale Semiconductor. *Freescale* [online]. , 12 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: https://www.pololu.com/file/download/mma7260qt.pdf?file_id=0j87
- [25] - SERVO SHIELD FOR ARDUINO V2 KIT. In: *Adafruit* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <https://www.adafruit.com/products/1438>
- [26] - Datasheets. In: *Sparkfun* [online]. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/SM-42BYG011-25.pdf>
- [27] - Microcon manual. In: *Microcon* [online]. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: https://www.email.cz/download/k/Bm5IVYSd0VLpX_iauZdC-UGp0JcsQwTpeO2-Xk41ts9LvMxqHXvcXFbFmM9iUaRbX92w50s/microcon_manual.pdf

3. ZDROJE OBRÁZKŮ

- [28] <https://www.fd.cvut.cz/projects/k620x1c/Bild%2011%20%20Pelikan%20kopie.jpg>
cit. 20.12.2015
- [29] <http://img.xcitefun.net/users/2009/07/100185,xcitefun-skytran-system-04.jpg>
cit. 20.1.2016
- [30] http://si.wsj.net/public/resources/images/BN-KI418_hyperl_F_20150916155422.jpg

cit. 18.1.2016

[31] http://img.motorkari.cz/upload/images/cache/clanky/2007-08/4248/20100330131114-21476_jpg_resize_450x1000__type_jpg_.jpg

cit. 20.1.2016

[32] <http://www.netradicnizazitky.cz/pagedata/adventures/large/434122-velorexV2.jpg>

cit. 13.5.2016

[33] -<http://vignette1.wikia.nocookie.net/mrbean/images/d/d1/I007718.jpg/revision/latest?cb=20150617061836>

cit. 18.2.2016

[34] <http://www.superbike-online.cz/magazin/bezpecne-na-motorce-s-miroulisym/obrazek/3>

cit. 20.10.2015

[35] <http://www.jiskra-benesov.cz/files/articles/do-divisova-i-letos-zavita-mezinarodni-plocha-draha-1371549545.jpg>

cit. 17.2.2016

[37] - http://img.auto.cz/news/img/art/2007-08/274_45dac06f86a2e.jpg

cit. 18.3.2016

[38] - <http://www.autembezpecne.cz/FS/0011-AutemBezpecne/documents//images/news/TOYOTA-iROAD-01-GMS-2013-1.jpg>

cit. 14.4.2016

[39] - https://www.email.cz/download/k/XwCQUhZK7RA8rReuBgondmTqLZBki-9M4V9zMDd3hlYoEkQUsDgLuHOG9cj_koHUup4N4CY/adx1335.pdf

cit. 10.5.2016

[40] - <https://a.pololu-files.com/picture/0J675.200.jpg?ae3f5a6e96d8771726334f523b40bac0>

cit. 17.4.2016

PŘÍLOHA č. 1

Zdrojové kódy pro testování jednotlivých částí

Kalibrace akcelerometru

```
//analogové vstupy na pinu A0,A1,A2
const int x = A0;
const int y = A1;
const int z = A2;

//přečtené hodnoty
int sensorX = 0;
int sensorY = 0;
int sensorZ = 0;

//výstup hodnot
int outputX = 0;
int outputY = 0;
int outputZ = 0;

//konstanta pro čí slování
int i = 1;

void setup() {
// inicializace sériové komunikace s rychlostí 9600 bps:
Serial.begin(9600);
}
voidloop() {
//čtení hodnot a jejich převod z analogového signálu na digitální
  sensorX = analogRead(x);
  outputX = map(sensorX, 0, 1023, 0, 255);
  sensorY = analogRead(y);
  outputY = map(sensorY, 0, 1023, 0, 255);
  sensorZ = analogRead(z);
  outputZ = map(sensorZ, 0, 1023, 0, 255);

  //výpys hodnot pomocí serial monitoru
  Serial.print("mereni cislo");
  Serial.print(i);
  Serial.print("\t X = ");
  Serial.print(outputX);
  Serial.print("\t Y =");
  Serial.print(outputY);
  Serial.print("\t Z = ");
  Serial.println(outputZ);
  //čí slo i je zvětšeno o 1
  i++;
//opakování programu každých 20 vteřin
delay(20000);
}
```

Test displeje

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
int i = 0; //proměnná pro určení vteřin
float k=0; //konstanta pro vypsaní nuly
float u=0; //proměnná rychlosti
byte pot = A3; //potenciometr na pinu A3
int val = 0;
int output = 0;
float f=0; //virtuální rychlost
//šedivé pole
byte znak[8] = { B10101,B01010, B10101,B01010, B10101, B01010, B10101,B01010,};
//černé pole
byte znak1[8] = { B11111, B11111,B11111,B11111,B11111,B11111,B11111,B11111};
//oddělení svislou čarou
byte znak2[8] = {B00100,B00100,B00100, B00100, B00100,B00100,B00100,B00100};
void setup() {
  Serial.begin(9600); //zahájení sériové komunikace
  lcd.createChar(1, znak); //uložení pole znak do knihovny znaků
  lcd.createChar(2, znak1);
  lcd.createChar(3, znak2);
  lcd.begin(20,4); //rozlišení displeje
  lcd.write("BAT"); //výpis textu BAT
  lcd.setCursor(0,1); //výpis textu do nultého sloupce a do prvního řádku
  lcd.write("NAK");
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.write("MOD Aktiv");
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.write("Rychlost");
  lcd.setCursor(16,3);
  lcd.write("km/h");}
void loop(){
  //nastavení výchozího stavu měnících se polí
  lcd.setCursor(5,1); lcd.write(1);
  lcd.setCursor(6,1); lcd.write(3);
  lcd.setCursor(7,1); lcd.write(1);
  lcd.setCursor(8,1); lcd.write(1);
  lcd.setCursor(9,1); lcd.write(2);
  lcd.setCursor(10,1); lcd.write(1);
  lcd.setCursor(11,1); lcd.write(1);
  lcd.setCursor(12,1); lcd.write(3);
  lcd.setCursor(13,1); lcd.write(3);
  lcd.setCursor(4,0); lcd.write(1);
  lcd.setCursor(5,0); lcd.write(1);
  lcd.setCursor(6,0); lcd.write(1);
  lcd.setCursor(13,0); lcd.write(":");
  int k = 0;
  int j = 0;
  // minuty
  while(j<61)
  {
  if (j<10)
  {
    lcd.setCursor(11,0);lcd.write("0");
    lcd.setCursor(12,0); lcd.print(j);
  }
  else
  {
    lcd.setCursor(11,0);lcd.print(j);
  }
  j++;

  if(k==0)
  {
    lcd.setCursor(14,0);lcd.write("00");
  }
  else
  {
    lcd.setCursor(14,0);lcd.write("60");
  }
  delay(1000);
  k++;
  int i=0;
```



```
int l=0;
    f=0;
    fx=10;
    //vteřiny
while(i<=59)
    {
        //generování virtuální rychlosti
        l=l+2;
    if(l<=5)
        {
            Serial.println("m");
            lcd.setCursor(10,3);lcd.print(f);
            f=f+10;

        }
    else if(l>5&&l<=10)
        {
            Serial.println("n");
            lcd.setCursor(10,3);lcd.print(f);
            f=f+10;

        }
    else if(l>10&&l<=20)
        {
            Serial.println("l");
            lcd.setCursor(10,3);lcd.print(f);
            f=f+10;
            l=0;

        }

    if(fx>50)
        {
            f=0;
            fx=0;

        }
        //potenciometr
        val = analogRead(pot);
        //jednotlivá pole se budou rozsvěcet a zhasínat podle natočení potenciometru
    if(val > 980)
        {
            Serial.print("H");
            Serial.print(val);
            lcd.setCursor(4,0);lcd.write(2);
            lcd.setCursor(5,0);lcd.write(2);
            lcd.setCursor(6,0);lcd.write(2);
            lcd.setCursor(5,1);lcd.write(2);
            lcd.setCursor(7,1);lcd.write(1);
            lcd.setCursor(8,1);lcd.write(1);
            lcd.setCursor(10,1);lcd.write(1);
            lcd.setCursor(11,1);lcd.write(1);
            lcd.setCursor(13,1);lcd.write(1);

        }
    elseif(val > 800)
        {
            Serial.print("H");
            Serial.print(val);
            lcd.setCursor(4,0);lcd.write(2);
            lcd.setCursor(5,0);lcd.write(2);
            lcd.setCursor(6,0);lcd.write(2);
            lcd.setCursor(5,1);lcd.write(1);
            lcd.setCursor(7,1);lcd.write(2);
            lcd.setCursor(8,1);lcd.write(2);
            lcd.setCursor(10,1);lcd.write(1);
            lcd.setCursor(11,1);lcd.write(1);
            lcd.setCursor(13,1);lcd.write(1);

        }
    else if(val > 600)
        {
            Serial.print("G");
            Serial.print(val);
            lcd.setCursor(4,0);lcd.write(2);
            lcd.setCursor(5,0);lcd.write(2);
            lcd.setCursor(6,0);lcd.write(2);
            lcd.setCursor(5,1);lcd.write(1);
            lcd.setCursor(7,1);lcd.write(1);
            lcd.setCursor(8,1);lcd.write(2);
            lcd.setCursor(10,1);lcd.write(1);
```

```
        lcd.setCursor(11,1);lcd.write(1);
        lcd.setCursor(13,1);lcd.write(1);
    }
else if(val > 400)
{
Serial.print("G");
Serial.print(val);
    lcd.setCursor(4,0);lcd.write(2);
    lcd.setCursor(5,0);lcd.write(2);
    lcd.setCursor(6,0);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(5,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(7,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(8,1);lcd.write(2);
    lcd.setCursor(10,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(11,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(13,1);lcd.write(1);
}
else if(val>200)
{
Serial.print("N");
Serial.print(val);
    lcd.setCursor(4,0);lcd.write(2);
    lcd.setCursor(5,0);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(6,0);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(5,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(7,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(8,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(10,1);lcd.write(2);
    lcd.setCursor(11,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(13,1);lcd.write(1);
}
else if(val>20)
{
    lcd.setCursor(4,0);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(5,0);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(6,0);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(5,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(7,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(8,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(10,1);lcd.write(2);
    lcd.setCursor(11,1);lcd.write(2);
    lcd.setCursor(13,1);lcd.write(1);
}
else
{
    lcd.setCursor(4,0);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(5,0);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(6,0);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(5,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(7,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(8,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(10,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(11,1);lcd.write(1);
    lcd.setCursor(13,1);lcd.write(2);
}
} //nula před vteřinami
if (i<10)
{
    lcd.setCursor(14,0);lcd.write("0");
    lcd.setCursor(15,0);lcd.print(i);
}
else
{
    lcd.setCursor(14,0);lcd.print(i);
}
i++;
delay(1000);
i=0;
j=0;
}
```

Test aktivního naklápění

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial portOne(4, 5); //sériová linka na 4. a 5. pinu

//analogové vstupy akcelerometru
byte gx=A1;          byte gy=A3;          byte gz=A2;
const float g = 9.81; //gravitační konstanta
float ax=0;          float ay=0;          float az=0;
float odklon;        float odklons;        float odklonn;
float k,x;
int sensorX = 0;     int sensorY = 0;     int sensorZ = 0;
int outputX = 0;     int outputY = 0;     int outputZ = 0;
int pocetx = 0;      int pocety = 0;      int pocetz = 0;
float prumerx = 0;   float prumery = 0;   float prumerz = 0;

voidsetup()
{
  pinMode(pot, INPUT);
  portOne.begin(9600);
  Serial.begin(9600);
}
voidloop(){

  int i=0;
  pocetx=0;  pocety=0;  pocetz=0;
  prumerx=0; prumery=0; prumerz=0;
  outputX=0; outputY=0; outputZ=0;
  while (i<5)
  {
    i=i+1;
    //načtení a převod hodnot akcelerometru
    sensorX = analogRead(gx);      outputX = map(sensorX, 0, 1023, 0, 255);
    sensorY = analogRead(gy);      outputY = map(sensorY, 0, 1023, 0, 255);
    sensorZ = analogRead(gz);      outputZ = map(sensorZ, 0, 1023, 0, 255);
    //Výpis hodnot AKCELEROMETRU
    Serial.print("\t X = " );      Serial.print(outputX);
    Serial.print("\t Y = " );      Serial.print(outputY);
    Serial.print("\t Z = " );      Serial.println(outputZ);
    pocetx=pocetx+outputX;
    pocety=pocety+outputY;
    pocetz=pocetz+outputZ;
  }
  delay(5);
  if(i==5)
  {
    //průměr z 5 načtených hodnot
    prumerx=pocetx/5;      Serial.println(pocetx);      Serial.println(prumerx);
    prumery=pocety/5;      Serial.println(pocety);      Serial.println(prumery);
    prumerz=pocetz/5;      Serial.println(pocetz);      Serial.println(prumerz);
    ax=-(((prumerx*4)/190)-2)*g;
    ay=(((prumery*4)/190)-2)*g;
    az=-(((prumerz*4)/190)-2)*g;
    //výpis výsledků
    Serial.print("\t ax = ");      Serial.println(ax);
    Serial.print("\t ay = ");      Serial.println(ay);
    Serial.print("\t az = ");      Serial.println(az);
  }
}
```

```
k=ax/az;
odklon = atan((k));
odklons=odklon*(180/3.1415);
Serial.print("\t odklon ="); Serial.println(odklons);
Serial.print("\t odklon ="); Serial.println(odklon);
x=odklons-odklonn;
//posílání signálů posériové lince
if (x<=2&&x>=-2)
{
Serial.print("x"); portOne.print("x");
}
else if (x>2&&x<=10)
{
Serial.print("L"); portOne.print("L");
}
else if (x>10)
{
Serial.print("A"); portOne.print("A");
}
else if (x<-2&&x>=-10)
{
Serial.print("P"); portOne.print("P");
}
else if (x<-10)
{
Serial.print("B"); portOne.print("B");
}
odklonn=odklons;
delay(500); // opakování každou půlvtětinu
}
}
```

Test krokového motoru

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <AFMotor.h>
SoftwareSerial portOne(2, 13);
AF_Stepper motor(48, 1);
void setup(){
  pinMode(2, INPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  portOne.begin(9600);
  motor.setSpeed(50); // 50 ot/min
}
void loop(){
  if(portOne.listen())
  {
    Serial.println("Přijatá data:");
  }
  while(portOne.available()){
    char a = portOne.read(); //čtení textových dat
    Serial.println(a); //tisknutí načtených dat
    //ovládání krokového motoru
    if(a == 'H'){
      motor.step(100, FORWARD, SINGLE);
    }
    else if(a == 'P'){
      motor.step(100, FORWARD, SINGLE);
    }
    else if(a == 'S'){
      motor.step(100, FORWARD, SINGLE);
    }
    else if(a == 'L'){
      motor.step(100, FORWARD, SINGLE);
    }
    else if(a == 'J'){
      motor.step(100, FORWARD, SINGLE);
    }
  }
}
```

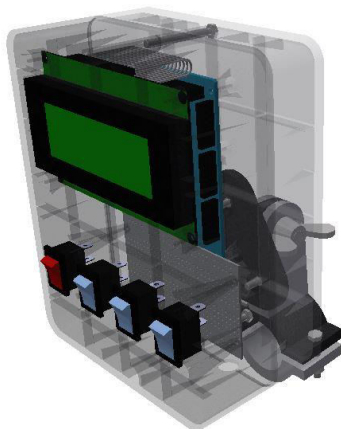
Test pasivního naklápění

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial portOne(4, 5);
byte pot = A0;          //analogový vstup potenciometru
int val = 0;
int output = 0;
int pocet = 0;
int prumer = 0;
int prumers = 0;
int i = 0;
void setup() {
    portOne.begin(9600);
    Serial.begin(9600);}
void loop() {
    //vynulování hodnot na začátku programu
    pocet= 0;
    prumer = 0;
    i=0;
    //naměření 5 hodnot
    while (i<5)
    {
        i=i+1;
        val = analogRead(pot);
        output = map(val, 0, 1023, 0, 255);
        //výpis do serial monitoru
        Serial.print("\t output = " );
        Serial.println(output);
        pocet=pocet+output;
    }
    delay(5);
    if(i==5) //průměr z načtených hodnot
    {
        prumer=pocet/5;
        Serial.println(pocet);
        Serial.println(prumer);
    }
    //posílání dat po sériové lince
    if (prumer<prumers)
    {
        Serial.print("P");
        portOne.print("P");
    }
    else if (prumer>prumers)
    {
        Serial.print("L");
        portOne.print("L");
    }
    prumers=prumer ;
    delay(500);
}
```

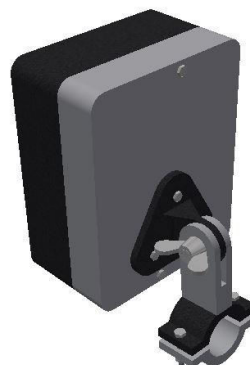
PŘÍLOHA č. 2

CAD modely navrženého panelu a výkresová dokumentace

Model ovládacího panelu



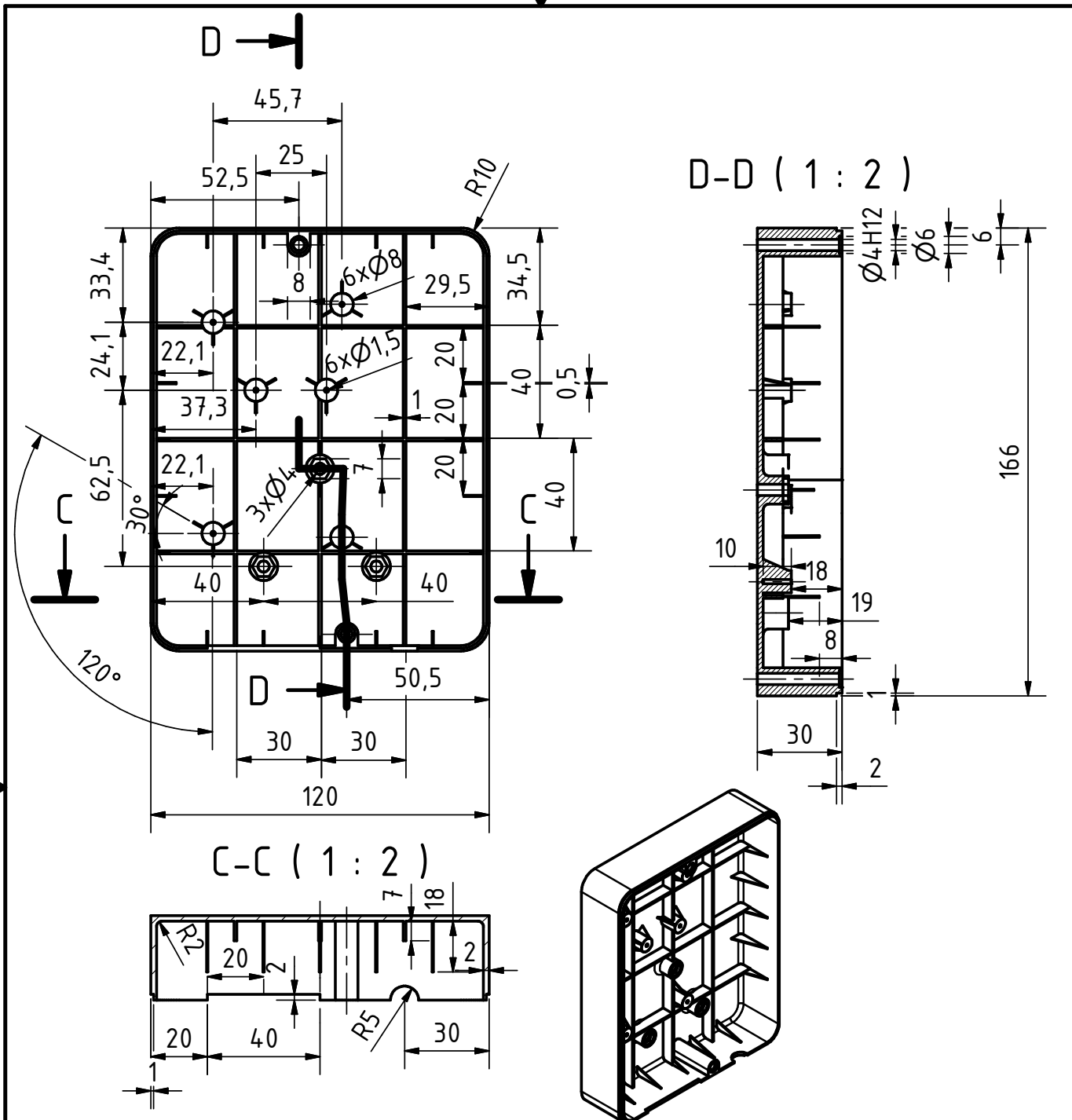
Obr. 1 - Pohled do vnitřku panelu



Obr 2. – Pohled do vnitřku panelu



Obr. 3 - Pohled na přední část panelu



Textura povrchu 		Hrany ISO 13715 		Měřítko 1:2	Přesnost ISO 2768 - mK
				Hmotnost (kg) 0,021	Tolerování ISO 8015
				Promítání 	
Materiál - Polotovár ABS-30M				Formát A4	
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil Josef WALDMANN	Název Zadní část pouzdra			
	Datum 13.5.2016	Číslo dokumentu BP KKS 16-02/1			
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil				
	Datum				
Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES					