

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

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

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Alternativní vozidla pro individuální přípravu osob

Autor: **Yaroslav PLETNEV**

Vedoucí práce: **Ing. Roman ČERMÁK, Ph.D.**

Akademický rok 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Yaroslav PLETNEV**  
Osobní číslo: **S12B0401P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**  
Název tématu: **Alternativní vozidla pro individuální přepravu osob**  
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 alternativních dopravních prostředků pro individuální přepravu osob. Zaměřte se i na modifikace současných dopravních systémů za účelem zvýšení efektivity, snižování energetické náročnosti, snižování dopadu na životní prostředí, apod. Zpracujte tematiku z hledisek principů činnosti, srovnání jednotlivých koncepcí, vlastností, aplikací, atd. Zmapujte trendy v oboru a očekávaný budoucí vývoj. V praktické části práce navrhnete ovládání naklápění 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. Návrh ovládání naklápění experimentálního vozidla
3. Experimentální ověření funkčnosti navržené varianty

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **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

**RILEY, Q. R.** *Alternative Cars in the 21st Century: A New Personal Paradigm, Second Edition.* Warrendale: SAE International, 2003


*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: **22. září 2014**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. června 2015**

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



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

V Plzni dne 22. září 2014

## **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/diplomovou 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

<b>AUTOR</b>	Příjmení Pletnev	Jméno Jaroslav		
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	„Dopravní a manipulační technika“			
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Čermák, Ph.D.	Jméno Roman		
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KKS			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Alternativní vozidla pro individuální přípravu osob			

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	39	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	32	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Bakalářská práce se zabývá problematikou alternativních vozidel i alternativních zdrojů energie, především tříkolových vozidel s elektrickým pohonem. V teoretické části jsou prozkoumány současní výrobci tříkolových vozidel a také alternativní dopravní systémy a alternativní paliva. Dále se práce zabývá pasivním naklápěním experimentálního tříkolového podvozku.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">Alternativní vozidla, alternativní dopravní systémy, tříkolové podvozky, naklápěcí podvozek</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Pletnev	Name Yaroslav		
<b>FIELD OF STUDY</b>	“Transport and handling machinery“			
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Čermák, Ph.D.	Name Roman		
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS			
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>	
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Alternative vehicles for individual transportation			

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2015
----------------	---------------------------	-------------------	-------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	39	<b>TEXT PART</b>	32	<b>GRAPHICAL PART</b>	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This bachelor's thesis deals with the topic of alternative vehicles and alternative sources of energy, especially with three-wheeled vehicles with an electric motor. The theoretical part examines the current producers of three-wheeled vehicles and also alternative forms of transportation and alternative fuels. The thesis follows up with passive tilting of an experimental three-wheeled chassis.
<b>KEY WORDS</b>	Alternative cars, alternative transportation system, three-wheels chassis, tilting chassis

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Romanu Čermákovi, Ph.D. za cenné rady, odborné připomínky, metodické vedení práce a vstřícnost při konzultacích a vypracování mé bakalářské práce.

## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>2</b>
1.1	PROBLÉMY .....	2
1.2	CÍL.....	2
<b>2</b>	<b>HISTORIE</b> .....	<b>3</b>
2.1	AKTUÁLNÍ VÝROBCE TŘÍKOLOVÝCH VOZIDEL.....	4
2.1.1	TWIKE (Německo).....	5
2.1.2	West Ward Industries (USA) .....	5
2.1.3	Drymer (Nizozemsko).....	6
2.1.4	Toyota i-Road (Japonsko) .....	6
<b>3</b>	<b>DOPRAVNÍ SYSTÉMY</b> .....	<b>7</b>
3.1	INTELIGENTNÍ DOPRAVNÍ SYSTÉMY .....	7
3.1.1	ComplexTrans .....	9
3.1.2	Zest Trans.....	10
3.1.3	skyTran.....	12
3.1.4	Motion Power - USA .....	12
3.1.5	Innowattech - Izrael.....	12
3.2	ALTERNATIVNÍ POHONY.....	13
3.2.1	Elektřina .....	14
3.2.2	Vodík.....	14
3.2.3	“Vodíková dálnice“ .....	15
3.2.4	Zemní plyn .....	15
3.2.5	Ropný plyn.....	15
3.2.6	Etanol .....	15
3.2.7	Metanol .....	16
3.3	SHRNUTÍ.....	17
<b>4</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>19</b>
4.1	POPIS VOZIDLA .....	19
4.2	TESTOVACÍ APLIKACE .....	20
4.2.1	Arduino Uno.....	21
4.2.2	Adafruit Motor Shield.....	22
4.2.3	Krokový motor .....	22
4.2.4	Joystick shield kit.....	23
4.2.5	Driver krokového motoru.....	23
4.3	POPIS ZAPOJENÍ HW .....	24
4.4	APLIKACE NA VOZIDLE .....	26
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>28</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>29</b>



# 1 Úvod

Moderní město používá dopravní technologie, které byly vytvořené již v XIX století. Dnes můžeme pozorovat mimořádné použití automobilové dopravy, což jde v rozporu s ekologií, a právě proto hrozí ekologická a sociální katastrofa. V současnosti inženýři z celého světa se snaží přijít s nejlépe účelným projektem alternativní individuální dopravy. Mezitím, čas neustále běží kupředu společně s okolním světem, technologie nevyjímaje. Den po dni se mění podmínky pro, resp. zásoby zajišťující, existenci at' toho či onoho objektu. Aktuálnost mé bakalářské práce spočívá v rešerši současných dopravních systémů a jejich dalších modifikacích, se zvláštním zřetelem na problematiku alternativních druhů vozidel.

## 1.1 Problémy

V současné době se na silnicích měst můžeme setkat s řadou problémů. Hlavními z nich jsou:

Základním a nejdůležitějším problémem je znečištění životního prostředí. Výfukové plyny spalovacího motoru přispívají jednak ke skleníkovému efektu spojeným s následnou změnou klimatu, jednak ke snižování lidské imunity v důsledku poškození genetického fondu.

Druhým a velmi důležitým problémem je plýtvání energetickými zdroji jednotlivci. Není neobvyklé, že auto je využito jako prostředek individuální dopravy. Auto koncipované pro 5 osob takto slouží k přepravě jediného člověka.

Z druhého problému vyvstává problém další a to sice problematiku situace s parkováním a zácpami na cestách.

Konstrukce osobních vozidel nám umožňuje jezdit na dlouhé vzdálenosti vysokou rychlostí, namísto čehož většinou používáme osobní vozidla pro přepravu po městě, za malých rychlostí. Není to snad další důvod pro vývoj alternativních vozidel?

## 1.2 Cíl

Myšlenka s návrhem alternativního vozidla se zrodila z výše uvedených problémů. Pod pojmem „alternativní vozidlo“ rozumíme transportní prostředek nejen s alternativním způsobem pohonu, ale také prostředek jako celek, který vybočuje z dnešní představy o běžném autě. Daný dopravní prostředek se dá používat nejen pro přepravu po městě, ale také pro přepravu v ekologicky chráněných zónách, jakými jsou národní parky atd.

Cílem této bakalářské práce provést stručně rešerše v oblasti alternativních dopravních prostředků pro individuální přepravu osob. Zaměřit se na alternativních dopravních systémech budoucnosti s pohledu efektivity a snižování energetické náročnosti, a také snižování dopadu na životní prostředí. V praktické části bude navrženo ovládání naklápěcího mechanismu a experimentální ověření funkčnosti pro alternativní tříkolové vozidlo.

## 2 Historie

Mini vozy ani zdaleka nejsou novou myšlenkou strojírenství. Byly populární již před vypuknutím druhé světové války. Důvod byl prostý - žalostný stav ekonomiky. Ale samotná historie se začala psát mnohem dříve, první mini-mobil v historii byl vytvořen francouzským inženýrem Charlesem Mochetem. Podnětem k vytvoření velokaru nebyla ekonomika, ale snaha inženýra vytvořit "bezpečné" kolo pro svého syna, což se mu také posléze podařilo. V roce 1924 se Mochet nechal inspirovat konceptem jízdy ve dvojici, kdy jeden člověk šlape na pedály a druhý řídí. Výroba a prodej velokarů nabral na dynamice. Již samotný fakt, že výroba mini-mobilů trvala celých 12 let a to sice v letech 1926 až 1938, mluví sám za sebe. Největší popularitu dosáhly velokary, v rodinách veteránů 1. světové války, kteří se vrátili slepí. Jelikož slepý člověk mohl šlapat na pedály, a jeho vidoucí manželka řídila samotné auto. Později se do těchto aut začaly montovat motory. [1]



Obrázek 1- Velocar Camionette. [1]

Dalším "v pořadí" je elektrický automobil značky Peugeot z roku 1942. Peugeot Voiture Legere de Ville (lehký městský automobil), který byl poháněn elektromotorem zásobovaným čtyřmi 12V bateriemi. Plně nabitá baterie vystačila na dojezdovou vzdálenost až 80 km.[2]



Obrázek 2 - Peugeot Voiture Legere de Ville. [2]

Později byla zahájena výroba série vozů King Midget. Výsledkem zajímavé mikro-automobilové myšlenky se stal jednomístný mini mobil zpracovaný piloty Claud Dry a Dale Orcutt. Zajímavostí je, že vůz byl prodáván v nesmontovaném stavu. Následně světlo světa spatřily tři série vozidel tohoto výrobce. Do dnešního dne existuje klub fanoušků tohoto automobilu.

Také automobilka Messerschmitt má svůj vlastní klub fanoušků. Společnost existovala v 50. letech 20. století. První vůz této značky měl název Fend Flintzer a to na počest svého tvůrce, inženýra-konstruktéra Fritze Fenda. Mezi lety 1948 a 1951 bylo vyprodukováno cca 300 těchto tříkolových automobilů. Vzápětí přišel čas na vozidla Kabinenroller. První Kabinenroller KR-175, měl jeden válec, výkon devět koní, délka činila 2820 mm a výška 1220 mm. Později se do prodeje dostal vylepšený model KR-200.

Jak již bylo řečeno výše, vrcholku své popularity dosáhly v Evropě malé dopravní prostředky v druhé polovině 50. let 20. století. Zajímavým byl vynález španělského mini furgonu - Biscuter Furgoneta, jehož trup byl vyráběn z hliníku a dřeva. V Itálii se staly velmi populárními tříkolové mini vozíky Vespa s jedním kolem vepředu.

V 70. letech minulého století již měla Francie dlouholeté a bohaté zkušenosti při vytváření nejrůznějších automobilů a v roce 1969 byl představen experimentální vůz La Voiture Electronique Porquerolles. Byla to dvojmístná elektrická tříkolka, bez střechy a dveří, ale s nejmodernější elektronikou své doby. Kromě toho nemělo auto ani volant ani pedály, nahrazeny byly joystickem zastávajícím všechny tyto funkce. Tento vůz měl na každém zadním kole motor. Nárůstem proudu na jednom z nich se rotovalo kolo rychleji a tím se auto otáčelo potřebným směrem.

Postupně, v 80. letech, vzrůstala poptávka po mikro autech. Ale Clive Sinclair se snažil oživit ideu "mikro-auta pro všechny", a do prodeje se dostalo auto Sinclair C5. Byl to malý a lehký elektrický vůz, spíše elektrický skútr, kterému byla přisuzována velká budoucnost. Ale projekt prohrál na plné čáře, kvůli demonstraci vozidla v zimě, kdy si tato tzv. „koloběžka“ nebyla schopna poradit s jízdou na sněhu.



Obrázek 3 - Sinclair C5. [3]

V roce 1990 se zájem o mini mobility naplno projevil v Japonsku, kdy právě zde začala móda minimalizace všeho a všech. Některé modely, jako například Daihatsu Move, Mazda Demio, Suzuki Capuccino, se dokonce exportovali i do Evropy. V samotném Japonsku se stal velmi populárním BMW Isetta.[20]

## 2.1 Aktuální výrobce tříkolových vozidel

Navzdory tomu, že tříkolové vozidlo je pro nás alternativním autem a přesahuje rámec obvyklé představy o běžném autu. Výrobci automobilů z různých zemí jako je Německo, Švýcarsko, Egypt, Japonsko, USA a další dodávají na trh různé druhy tříkolových vozidel. Mezi hlavní výhody těchto vozidel patří jejich manévrovatelnost, která je zajištěna menším úhlem otočení, dále úspornost, které bylo dosaženo díky lehké váze konstrukce. V neposlední řadě i jejich šetrnost k životnímu prostředí, která je zvláště v dnešní době důležitou i proto, že s každým dnem se objevuje stále více tzv. "zelených zón", do kterých je vstup s vozidlem s motorem vnitřního spalování zakázán. Tříkolová vozidla jsou většinou vybavena elektrickým pohonem a jsou velmi vhodná pro pohyb po ekologicky čistém místě.

### 2.1.1 TWIKE (Německo)

Tříkolka vybavena hybridním elektrickým motorem a pedálovým mechanismem. Rekuperační brzdy a doplňkové pedály jsou generátory toku. Šlapáním pedálů lze dobít baterie na cestách, což nedovoluje zůstat na silnici s vybitou baterií. Twike umožňuje maximální rychlost až 85 km/h, a na jedno nabití ujet až 500 km. Jako materiál v baterii se používá nikl a mangan.[21]



Obrázek 4 - Twike tříkolka. [4]

### 2.1.2 West Ward Industries (USA)

Tři bratři z Ameriky zabývající se vývojem jednomístných tříkolek s elektrickým pohonem. Auto je vybaveno 1x litrovým motorem s 69 koňskými silami. Při prolomení továrního omezení je možné zvýšit maximální rychlost nad 100 km/h. Tříkolka obsahuje systém varování o nebezpečném úhlu náklonu. Z důvodu úspory místa na parkovišti využívá auto posuvná okna a dveře.[22]



Obrázek 5 - Go-4 car. [5]

### 2.1.3 *Drymer (Nizozemsko)*

Holandský výrobce tříkolových elektrických vozidel s naklápěcím mechanismem. Vozidlo je vybaveno na zadním kole motorem o výkonu 250 W. Elektromotor napájen dvěma 48 V lithium-ion dobíjecími baterie. Drymer se je schopen jízdy rychlosti až 25 km/h, a jedno nabití vystačí na vzdálenost cca 70-80 km.[23]



Obrázek 6 - Tříkolka Drymer. [6]

### 2.1.4 *Toyota i-Road (Japonsko)*

Tento tříkolový městský elektromobil Japonského výrobce určený pro dvě osoby je založen na principu naklápěcího mechanismu, který mění sklon v zatáčkách vzhledem k vertikální ose. „i-ROAD“ je vybaven dvěma elektromotory o výkonu 2 kW, maximální rychlost činí až 45 km/h. Výdrž jednoho nabití - 50 km. Plné nabití trvá přibližně 3 hodiny.[24]



Obrázek 7 - Toyota i-Road. [7]



### 3 Dopravní systémy

Úroveň rozvoje dopravy je velmi důležitým ukazatelem úrovně civilizace společnosti, rozvoje země nebo regionu. Při pohledu do minulosti lze spatřovat, že přechod z jedné formace komunity do jiné byl doprovázen změnou jednak dopravních prostředků, jednak i dopravního systému jakožto celku.

Dopravní systém je souhrn dopravní infrastruktury, dopravních podniků, dopravních prostředků a řízením všech těchto částí. Pojmem řízení se rozumí sledování celého dopravního systému, jako jsou semaforey, informační tabule, štítky na kolejích a tak dále. Jinými slovy, řízením dopravního systému lze rozumět řadu různých aktivit zaměřených na efektivní fungování systému v rámci sebe sama, nebo s vnějším prostředím prostřednictvím koordinace a organizace prvků tohoto systému.

Formováním a zlepšováním dopravního systému jsou realizovány všechny nejlepší a nejprogresivnější úspěchy ve vědě, průmyslu a stavebnictví. V současné době má doprava významný dopad nejen na hospodářský růst, ale také na životní prostředí. Tento dopad je v současnosti spíše negativní než pozitivní, protože základní podíl znečištění, který činí více než 80%, je způsoben právě dopravními prostředky. Lze tedy dovodit, že řešení otázky znečištění atmosférického vzduchu obecně podává odpovědi i na otázky kladené v souvislosti s řešením otázek znečištění automobilovým průmyslem.

Dopravní systém a doprava sama o sobě může být označena jako systém, který se skládá ze dvou subsystémů – veřejné a neveřejné dopravy. Veřejnou dopravou se rozumí taková doprava, která v souladu se zákonem musí provádět přepravu nákladů a cestujících. To je tzv. samostatné odvětví materiální výroby, poskytující spojení mezi výrobou a spotřebou. Naopak neveřejná doprava je doprava, která probíhá ve sféře výroby, tj. uvnitř určité společnosti nebo organizace. Jinými slovy, je to vnitro výrobní nebo též technologická přeprava. Tato práce se zabývá veřejnou dopravou.

Vzhledem k tomu, že naše tříkolové vozidlo lze kategorizovat jako automobil, další úvahy budou vedeny pouze v rovině silniční dopravy. Silniční doprava má řadu technických a ekonomických charakteristik, které zaručují určité výhody a široké využití ve všech odvětvích hospodářství. Především je to velká manévrovatelnost a mobilita. Náklady mohou být přepravovány přímo z jednoho místa na druhé, bez přetížení a meziskladu, tj. "od dveří ke dveřím". Za určitých podmínek může silniční doprava dosahovat vysoké rychlosti, kdy rychlejší je pouze doprava letecká, ale dopravní trasy jsou často kratší než u jiných druhů dopravy. Nevýhody spojené s motorovými vozidly jsou relativně vysoké náklady, které jsou výrazně vyšší než při vodní nebo železniční dopravě, což je zapříčiněno nižší nosností. Za další nedostatek lze označit to, že v některých regionech je obecně nedostačující technický stav komunikací, který je třeba k realizaci tohoto typu dopravy. Stejným způsobem lze nahlížet i např. na nedostačující rozměry komunikací v určitých regionech.

[Zdroj:49, 50, 51, 52]

#### 3.1 Inteligentní dopravní systémy

Provoz jako celek lze v současné době považovat za jednu z nejsložitějších složek sociálně-ekonomického rozvoje měst a regionů. V této oblasti má být použita nejmodernější technologie pro sběr a zpracování informací o parametrech dopravního

provozu (hustota, rychlost atd.), pro zajištění non-stop provozu. Každý den se objevují další a další požadavky na úroveň vývoje ve všech sférách lidského života, a to i v systému transportní dopravy.

V posledních desetiletích se snižuje rovnováha mezi potřebami dopravních služeb a skutečné propustné schopnosti všech druhů dopravy. Ve velkých městech byly výrazně vyčerpány extenzivní způsoby uspokojování lidských potřeb, tj. zvýšením počtu dopravních prostředků nelze získat významný nárůst objemu osobní a nákladní dopravy.

Bez ohledu na pozitivní vývoj v globální přepravě, existuje řada negativních důsledků, jejichž velikost a význam dávají základ k tomu, aby byl tento problém označován za problém velkého měřítka. Některé z těchto vlivů zahrnují vysokou úroveň nehod a jako výsledek i velký počet lidských obětí stejně jako zvýšení spotřeby neobnovitelných zdrojů energie vede ke zvýšení znečištění okolního prostředí. Neustále se zvyšující zpoždění osob a zboží ve všech druzích dopravy je také spojeno s objektivním nedostatkem kapacity dopravní infrastruktury, stejně jako s nízkou úrovní řízení provozu.

Globální transportní komunitou bylo nalezeno řešení vytvářením nejen systému řízení dopravy a vytvoření pokročilejšího dopravního systému, který bude zahrnovat komunikaci, řízení a kontrolu (a to vše bude od počátku zabudováno do vozidel a objektů infrastruktury, což umožňuje kontrolu), na základě informací přijatých v reálném čase, přičemž tyto informace budou k dispozici nejen provozovatelům, ale také všem uživatelům dopravy. Toto řešení přineslo následující integrovaný systém: Lidé - dopravní infrastruktura - dopravní prostředky, ve kterých se používá nejnovějších technologií v řízení správy informací. Tyto moderní dopravní systémy se začaly nazývat jako inteligentní. Zkušenosti s používáním palubních inteligentních systémů ukázaly, že jsou schopné snížit počet nehod o 40% a počet smrtelných nehod o 50%.

Inteligentní dopravní systémy (ITS) jsou systémovou integrací moderních informačních a komunikačních technologií a prostředků automatizace s dopravní infrastrukturou vozidly a uživateli, která je zaměřena na zlepšení bezpečnosti a efektivity dopravního procesu a také komfortu pro řidiče a uživatele dopravy.

Koncepční schéma výstavby ITS je třeba zkoumat jako organizaci systémové formy interakce všech druhů dopravy, ve kterém budou využívány co nejefektivněji dopravní prostředky a zdroje a to prostřednictvím společných dopravních operací s nejvíce racionálními variantami vývojového a konstrukčního diagramu pohybu cestujících a nákladů, zajišťující kvalitu dopravních služeb.

Jedním z hlavních směrů rozvoje ITS, kterým se v posledních několika letech vydává, je realizace koncepce inteligentní vozidla.

Jak už bylo řečeno inteligentní dopravní systémy, využívají inovací vývoje v modelování dopravních systémů a regulace provozu, poskytují koncovým uživatelům více informací a bezpečnosti a k tomu kvalitativně zvyšuje úroveň interakce mezi účastníky provozu na cestách ve srovnání s obyčejnými dopravními systémy.

Dnes již existuje několik druhů ITS. Jednotlivé systémy se liší dle uplatňovaných technologií. Počínaje jednoduchými navigačními systémy pro automobily a různých oznamovacích systémy jako jsou znaky, až po systémy které sbírají tok informací a zpětnou vazbu z mnoha různých zdrojů a pak vydávají tyto informace řidičům. Jejich částí inteligentních dopravních systémů je také systém automatického řízení provozu. Jedná se o komplex různých technických, programových a organizačních pokynů k zajištění sběru a

zpracování informací o parametrech provozu a na základě těchto údajů optimalizace řízení provozu a bezpečnosti silniční dopravy. Základem všech inteligentních dopravních systémů je nepřetržitý sběr informací o rychlosti a hustotě provozu, nehodách a podmínkách pro neustálý pohyb vozidel. Inteligentní dopravní systémy mohou být také použity jako infrastruktury pro vozidla s alternativním palivem. Moderní projekty se snaží jít cestou budoucnosti, ne tradičním způsobem neustálého pohlcování energie, ale spíše ji vytvořit na principu elektrárny pro následující výrobu energie, která bude stačit alespoň pro vlastní energetické potřeby.

[Zdroj: 53, 54]

### 3.1.1 *ComplexTrans*

ComplexTrans je českým konceptem inteligentního dopravního systému budoucnosti, potřebný pro osobní a obecnou (hromadnou) přepravu osob a nákladů a to jak v rámci města, tak i mezi městy. Systém je založen na racionálním využívání silničního a železničního spojení, přičemž dopravní systémy kombinují výhody a odstraňují nevýhody, čímž lze získat na výstupu nový dopravní systém s novými příležitostmi. Jak bylo uvedeno výše, lidé často používají vozidlo samostatně a zbytečně využívají energie nutné k provozu zařízení pro 3-4 osoby.

Jeden z principů ComplexTrans je myšlenka změny tvaru a velikosti vozu a to jak vozidel osobního užívání, tak i vozidel nákladních. Přičemž změna tvaru rozšiřuje počet funkcí vozidla pro osobní použití. Hlavními prvky systému jsou tzv. kupé mobily (či jak říká autor - přizpůsobená vozidla) a kombinované dvoupatrové vlaky. Kupé mobily jsou považovány za prostředek osobní dopravy, zatímco vlak už je prostředkem hromadné dopravy. Kromě toho je mezi součástmi celého systému speciální infrastruktura, která je velmi úzce spjata s kupé mobily, stejně jako s různými asistenčními technickými zařízeními.

Mezi výhody tohoto systému lze zařadit následující skutečnosti - vylepšenou individuální a hromadnou dopravu na malé a velké vzdálenosti, lepší parkování, používání vozu nejen s cílem transportace, zlepšení bezpečnosti a komfortu, zvýšení rychlosti transportace, možný pokles ceny dopravy, snížení používání neobnovitelných zdrojů a tím i snižování emisí CO<sub>2</sub>.

Kupé mobil má transformující vnitřní prostor a interiér lze upravit různými způsoby: vleže 2 osoby nebo pracovní prostor s psacím stolem anebo salon až s 5 sedadly a tak dále. V případě dvoupatrových vagonů ComplexTrans, se horní patro používá pro přepravu osob a dolní část má prostor pro kupé mobily s lidmi nebo další prostor pro různé moduly a náklady.



Obrázek 8 - Naplnění ComplexTrans vlaku. [8]

Vývoj alternativních dopravních systémů pomáhá řešit velmi odlišné problémy. Stejně jako problém s parkovišti. Často se stává, že místo, kde chce člověk zaparkovat je



obsazeno. Tento případ alternativní systémy řeší vlastním způsobem a např. v ComplexTransu byl tento problém vyřešen nadchodníkovým parkovištěm. Jedná se o stavbu, která je postavena nad chodníkem. Tím lze docílit na jedné straně volného místa pro provoz na silnici, na straně druhé volného chodníku pro chodce.

Bezpečnost v alternativních dopravních systémech nezůstává opomenuta. Velmi často jsou nehody na dálnici způsobeny špatným počasím (resp. špatnou viditelností) či proto, že díky dlouhé vzdálenosti, kterou řidič ujel, se dostavuje silná únava a posléze spánek za volantem. V ComplexTrans je řešení tohoto problému je následující - dálková přeprava automobilů probíhá ve vlcích a během této doby si řidič může odpočinout nebo se věnovat svým vlastním záležitostem, například studiu či práci. Další výhodou takovéto přepravy automobilu na velké distance je ta, že během přepravy se auto může nabíjet.

[Zdroj: 25, 26]

### 3.1.2 Zest Trans

Inovační společnost Zest nabízí nové řešení v oblasti soukromé dopravy založené na využití moderních technologií v této oblasti. Alternativní osobní doprava - směs úspěchů v oblasti inteligentních dopravních systémů, ekologie a ochrany životního prostředí, elektrotechniky s originálním vývojem v organizaci dopravy, konstrukci vozidel a infrastruktury poskytuje systém s unikátními vlastnostmi. Hlavní z nich je možnost pohybu za obtížných podmínek, systém je schopen řešit mnohé z problémů městské dopravy, přičemž zaplňuje minimum prostoru ve městě. Rychlá doprava cestujících nonstop a bez dopravních zácp a za značného snížování celkových nákladů na dopravu a minimálním dopadem na městské prostředí.

V současné době existují tři technická řešení. První z nich je PRT Zest, systém osobní rychlostní kombinované dopravy. Úspěchy v oblasti automatizovaných systémů řízení dělají vytvoření automatizovaných dopravních sítí velmi realistickým a výsledkem je poskytnutí potřebné propustné způsobilosti provozu města.

Dual Mode PRT Zest je doprava metropole kombinující kvalitu obyčejného automobilu a automatizovaného dopravního prostředku, tzv. doprava dvojitého účelu, na které je možné se přepravovat jednak na běžných ulicích a jednak automaticky, na speciálně konstruované trase, bez zastávek a dopravní zácpy a to i bez účasti řidiče, kdy vedení vozu po trase přechází do automatického dispečera. Charakteristickou specifičností navrhovaného systému je minimalizace potřebné městské plochy a jednoduchost přizpůsobení se obtížným podmínkám reliéfu díky schopnosti přesunout posádku po silně stoupajících a klesajících trasách.

Zest systém lze označit jako potenciální dopravu budoucnosti. Správa posádky automatizovaným systémem umožňuje eliminovat



Obrázek 9 - Dual Mode PRT Zest. [9]

zácpy, zvýšit propustnost, snížit energetické ztráty. Kromě toho, inovativní dopravní systém našel řešení problému malých dojezdů na elektrický pohon. Řešením je zavedení uzavřené dopravní komunikace, ve které se vůz pohybuje na pneumatikách kolech, po speciálním kolejovém pohonu, který je umístěn nad posádkou. Tyto trysky na jedné straně poskytují požadovanou trakci a zároveň absorbují elektrický proud pro ukládání energie v bateriích.

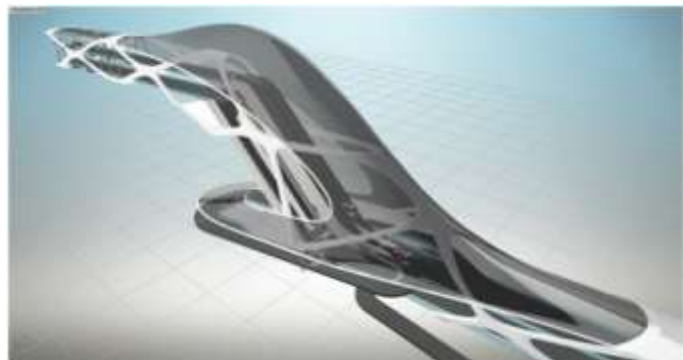


Obrázek 10 - Tram-Zest. [10]

Druhé řešení alternativního dopravního systému je Tram-Zest. Na rozdíl od Zest PRT je systém schopen přepravovat skupiny lidí, zboží a také i vozy s cestujícími po speciálně připravených cestách. Tím se zlepšuje situace v oblasti životního prostředí. Speciální dopravní zařízení pro tyto systémy mají malou nosnost, jejich náklady jsou nízké, ale mají vysokou propustní schopnost kvůli automatickému řízení a nepřítomnosti zastávek během jízdy.

Již byl vypracován značný počet systémů tohoto typu, ale ještě nebylo nalezeno uplatnění, protože výstavba nových silnic a související infrastruktury pro alternativní dopravy zpravidla vyžaduje velkých městských ploch, které není možné vybrat. Navrhovaný systém je odlišný od ostatních svou minimalizací požadovaného prostoru pro umístění dráhy a také jednoduchým přizpůsobením k ztíženým podmínkám plánování a reliéfu. Tento systém může rozšířit využívání alternativních individuálních dopravních prostředků ve tvaru samohybných vozidel a vozidel vybavených tichým a neznečišťujícím pohonem.

Třetím řešením, je koncept G-Way Zest, který nabízí změnu všeho podstatného na tradičním principu pohybu. Konkrétně nabízí sjíždění působením gravitační síly a vzestup pomocí stacionárního motoru. Myšlenka krytého tzv. kolo-politena doplněného gravitačními trasami a trasami jako u PRT umožňuje vytvořit absolutně nový a účinný způsob městské dopravy, schopný vytlačit běžné auto a stát se životaschopnou alternativou hromadné



Obrázek 11 - G Way Zest. [11]

veřejné dopravy. Je přitom cenově dostupným a komfortním způsobem jednak individuální jednak hromadné přepravy.

Pro zvýšení úrovně komfortu se nabízí rozpracovat kolo-mobil, přizpůsobený k automatické jízdě po gravitačních cestách. Tento kolo-mobil bude mít elektrický pohon s baterií malé kapacity. Velmi zajímavou se jeví varianta, ve které řidič tohoto kolo-mobilu může nejen vyrábět ale i skladovat energii potřebnou na cestu po gravitačních drahách. V tomto kolo-mobil začíná být vozidlem dvojitého režimu s podobným principem práce jako PRT Zest. [27]

### 3.1.3 skyTran



Obrázek 12 - skyTran. [12]

skyTran je dalším patentovaným konceptem moderního individuálního transportního systému. Poskytuje se jako vysokorychlostní, nízko nákladní a zcela ekologický systém osobní dopravy (ang. PRT - Personal Rapid Transit). Hlavním modulem systému je "kapsle" k přepravě dvou až čtyř lidí. Tyto "kapsle" jsou na elektrickém pohonu za použití magnetické levitace (maglev). Podle vývojářů bude skyTran dosahovat rychlosti až 240 km/h. Problematickým není fakt, že do "vláček" se umísťují pouze 2-4 lidé. Tento fakt nijak nebude vadit konstantnímu proudu modulů jdoucích za sebou. V případě potřeby zastavení se modul snadno vyřadí z proudu, čímž se nezpomaluje plynulý pohyb. V případě problému s výpadkem elektřiny je skyTran vybaven doplňkovým interním zdrojem energie, který je postačující pro dojíždění do první zastávky. První postavení systému skyTran je plánováno v roce 2016 v Izraeli. Dalšími možnými stavebními destinacemi jsou v dlouhodobém plánu např. Francie, Indie, San Francisco, Kalifornie a další.[28]

### 3.1.4 Motion Power - USA

Americká společnost New Energy Technologies vynalezla zařízení, které je schopné přijímat elektrickou energii z automobilů. Zařízení s názvem "Motion Power Energy Harvester" využívá kinetické energie vozidla, které se pohybuje nízkou rychlostí. Generátorem je deska, na kterou vozidlo najede a přidá zde svou energii. Deska se prohne a okamžitě vytváří určité množství energie. Dnes se zařízení umísťují v blízkosti oken pro přijímání objednávek restaurací rychlého občerstvení.[29]

### 3.1.5 Innowattech - Izrael.

Izraelský projekt, který vynalezl technologie sběru elektrické energie z vozovky pomocí piezo-generátoru. Společnost navrhla systém výroby a skladování energie, která obvykle zůstává nevyužita. Zdrojem této energie je tlak vyvolávaný jedoucím autem, vlakem nebo letadlem při vzletu nebo přistání. Je třeba také poznamenat, že navrhovaný systém výroby a skladování energie může být použit k vytvoření infrastruktury pro elektrická vozidla. Tato organizace spolupracuje s Ministerstvem dopravy a bezpečnosti silničního provozu Izraele. Betonové bloky s usazenými piezo generátory jsou položeny na

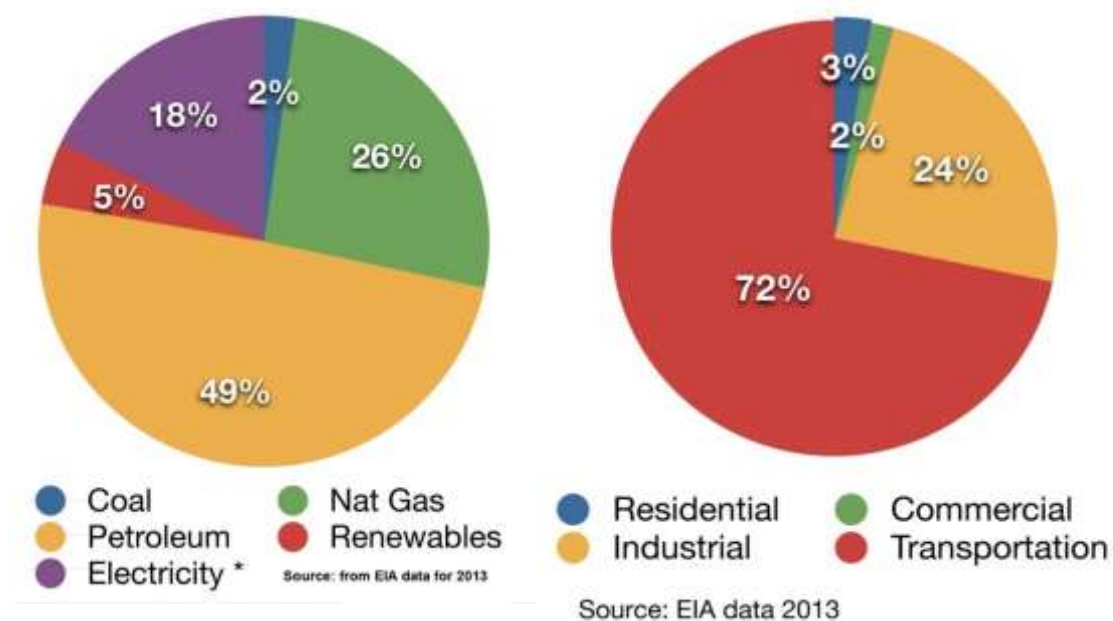
silnici a pokryty 5 centimetrovou vrstvou asfaltu. Automobily přejíždí po těchto senzorech a předávají jim energii. Jednou z hlavních výhod této konstrukce je to, že není dalšího prostor pro jeho stavbu, všechny části se ukládají do země.[30]

### 3.2 Alternativní pohony

Alternativní palivo dle definice ministerstva energetiky spojených států Amerických, je palivo neobsahující ropu, které poskytuje energetickou bezpečnost a ekologické výhody. Nejpopulárnější otázkou automobilové výroby je právě otázka alternativního paliva.

Základ přírodní rovnováhy a fungování biosféry Země je založen na třech přírodních cyklech: uhlíkového cyklu, cyklu dusíku a koloběhu vody. Až doposud byla a stále zůstává praktická a hospodářská činnost založena na dobývání a spalování v zemské kůře nahromaděných uhlíkatých minerálů organického původu: uhlí, ropy a hořlavých plynů. Při jejich spalování se nevratně vyčerpávají zásoby uhlovodíkových surovin a atmosféra se znečišťují látkami toxických karbonových produktů. Kromě toho, žádné zlepšení v benzinových spalovacích motorech, použití biopaliv pro motory s vnitřním spalováním či použití plynu neřeší další globální problém, kterým je skleníkový efekt. Koncentrace oxidu uhličitého CO<sub>2</sub> v zemské atmosféře se v průběhu minulého století neúměrně zvýšila a stále se zvyšuje. Vzhledem k tomu musí hledání a nalezení nového paliva uspokojit několik požadavků: mít potřebné suroviny, nízké náklady, nezhoršovat práci motoru, produkovat co nejméně škodlivých látek a pokud je to možné, tak být schopno kombinace se stávajícím systémem dodávky paliva atd. Na kruhových diagramech dole jsou znázorněny orientační poměry spotřeby různých energetických zdrojů ve světě a také poměry spotřeby ropy v různých oblastech. Z diagramů je zřejmé, že právě ropa je v současné době hlavním a nejoblíbenějším zdrojem energie. Nejvýraznější závislost na ropě je v oblasti dopravy.

Nicméně ekologie je pouze jednou částí problému. Též nesmí být opomenuto, že zásoby ropy nejsou nekonečné. V případě, že ropa dojde, bude důsledkem to, že doprava, v podobě, v jaké existuje dnes, přestane existovat. Proto je zcela pochopitelný celkový



Obrázek 13 - Spotřeba alternativního paliva. [13]

Obrázek 14 - Oblast spotřeby ropy. [14]

rostoucí zájem o alternativní zdroje paliv pro automobily, cílem kterého bude snížit závislost na fosilních palivech.[31]

### 3.2.1 *Elektrina*

Elektrina jako zdroj energie pro automobily může výrazně změnit transportní nabíjecí systém z jediného zdroje energie jako je ropa, na univerzální energii, kterou lze získat z různých prvotních energetických zdrojů. V tomto případě emise zcela chybí. Tato skutečnost činí elektrická vozidla ideálními pro městské použití. Výměna spalovacích motorů na elektromotory pomůže se snížením emisí oxidu uhličitého.

Pro zavedení elektřiny jako alternativního paliva je třeba elektromotoru, což je zařízení, cílem kteréhož je převést elektrickou energii na energii mechanickou. Jeho práce je založena na principu elektromagnetické indukce. Motor se skládá ze statoru - stacionární části, a rotoru - pohybující se části. Dnes se elektromotory používají v automobilovém průmyslu a to nejen samostatně na elektrické automobily, ale i spolu se spalovacími motory (takové systémy, které zahrnují dva zdroje energie, se označují jako hybridní pohon).

Hlavní výhodou elektromotoru je minimální míra automobilové emise. Další výhodou je, že toto palivo můžeme považovat za palivo tzv. „domácí výroby“ a je široce dostupné. Dá se vyrobit pomocí jaderné elektrárny nebo solárních zdrojů. Kromě toho, auto na elektromotoru pracuje s minimálním hlukem. Tento druh pohonu je dobrý pro dopravu ve městě. Na druhou stranu, velkou nevýhodou tohoto zdroje energie je povinné použití baterie, které dnes mají vysokou cenu a relativní nízkou kapacitu, přičemž za dobu provozu se její kapacita snižuje ještě dále a tím ještě víc snižuje vzdálenost dojezdu. Druhým významným problémem je značná emise při výrobě těchto baterií.

[Zdroj:32]

### 3.2.2 *Vodík*

Vodík je bezbarevný plyn bez zápachu. Je to nejjednodušší a nejlehčí palivo. Tvoří většinu hmoty celého vesmíru. Vodík existuje pouze v kombinaci s dalšími prvky, jako je kyslík, uhlík a dusík. Pro použití vodíku jako paliva je jej třeba oddělit od jiných prvků. Kromě toho, v závislosti na zdroji, může vodík obsahovat nízké množství oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého.

Vodík může být vyráběn za použití různých zdrojů, například domácími zdroji obsahujícími fosilní paliva, jako je zemní plyn a uhlí, jaderná energie; a energie z biomasy a dalších obnovitelných zdrojů energie, jako je větrná, solární, geotermální a vodní energie. V budoucnu bude mít vodík důležitou roli v rozvoji elektricky pohaněných systémů vzhledem k možnosti výroby prakticky v neomezeném množství pomocí využití obnovitelných zdrojů. Dále může být použit ve spalovacích motorech a palivových článcích elektrických vozidel. Díky malé hustotě vodíku se lze setkat s problémy s jeho přepravou a skladováním.

Za nevýhodu lze označit například potřebu rozsáhlého výzkumu a vývoje v této oblasti, což je hlavní příčinou současných vysokých nákladů na výrobu automobilů založených na vodíkovém pohonu. Kromě již zmíněného je třeba také zcela nové infrastruktury čerpacích stanic.

[Zdroj:33, 34]



### 3.2.3 “Vodíková dálnice“

Je společným názvem pro různé stavební projekty vodíkových čerpacích stanic podél dálnic. První čerpací stanice byla postavena v srpnu 2006, v Norsku, a její oficiální otevření se konalo v roce 2009. Vodíková dálnice se nachází mezi městy Oslo a Stavanger. Česká republika se také zapojila do tohoto vývoje. První vodíková „benzinka“ byla otevřena v listopadu 2009, v Neratovicích. Podle zdroje trvá naplnění nádrže autobusu 10 minut a u osobního auta doba činí pár minut. Není náhodou, že první vodíková pumpa je zrovna ve městě Neratovice, což je dáno přítomností projektu TriHyBus, součástí kterého je vodíkový autobus pro hromadnou dopravu osob.

[Zdroj:35, 36]

### 3.2.4 Zemní plyn

Zemní plyn je směs uhlovodíků, zejména metanu, a je vyroben buď z plynových vrtů, nebo ve spojení s dobývání surové ropy. Zemní plyn se spotřebovává v obytných, komerčních, průmyslových a inženýrských trzích. Zemní plyn může být uložen buď na palubě vozidla jako stlačený zemní plyn (CNG), nebo jako zkapalněný zemní plyn (LNG). Zemní plyn může být také namíchan s vodíkem. Mezi hlavní výhody zemního plynu ve srovnání s benzinem patří nižší cena a mnohem vyšší ekologičnost. Na druhou stranu se používáním zemního plynu v automobilech zmenšuje např. zavazadlový nebo jiný prostor, v němž je třeba umístit tlakové nádoby. Podle údajů webu cng.uz bylo v roce 2014, v České republice, spočteno už 75 čerpacích stanic a celkem 8055 vozů jezdících na zemní plyn.

[Zdroj:37]

### 3.2.5 Ropný plyn

LPG čili směs propanu a butanu je alternativní palivo pro automobily. Při spalování této směsi se vylučuje menší množství oxidu uhličitého než při spalování benzínu nebo dieselu. Kromě toho spaliny obsahují méně škodlivých látek než obvyklé palivo a stejně tak i zcela chybí pro lidské tělo škodlivé olovo. Jedná se též o relativně levné palivo. Pro jeho použití do auta se montuje plynový systém pro použití zkapalněného plynu, přičemž benzinový systém zůstává na místě, a do auta se připojuje speciální přepínač mezi těmito dvěma palivy, aby přepnutí bylo možné bez opuštění vozu. LPG má vyšší oktanové číslo než benzín. Jinými slovy, směs propanu a butanu je méně výbušná než benzín a tím i bezpečnější než ostatní plynná paliva. Další výhodou je, že kapacita, která se rovná objemu standardní palivové nádrže naplněné zkapalněnými směsí plynů, poskytne dvakrát vyšší dojezdovou vzdálenost vozu oproti plné nádrži benzínu. Za výhodu lze taktéž považovat fakt, že budování infrastruktury pro ropný plyn je levnější než pro ostatní alternativní paliva. K nevýhodám tohoto paliva se dá říci to, že motor běžící na LPG je složitější uvést v chod za studeného počasí, je třeba více času pro zahřátí. Plynná směs hoří pomaleji a tím vylučuje méně tepla než benzín, čímž se sníží výkon motoru.[38]

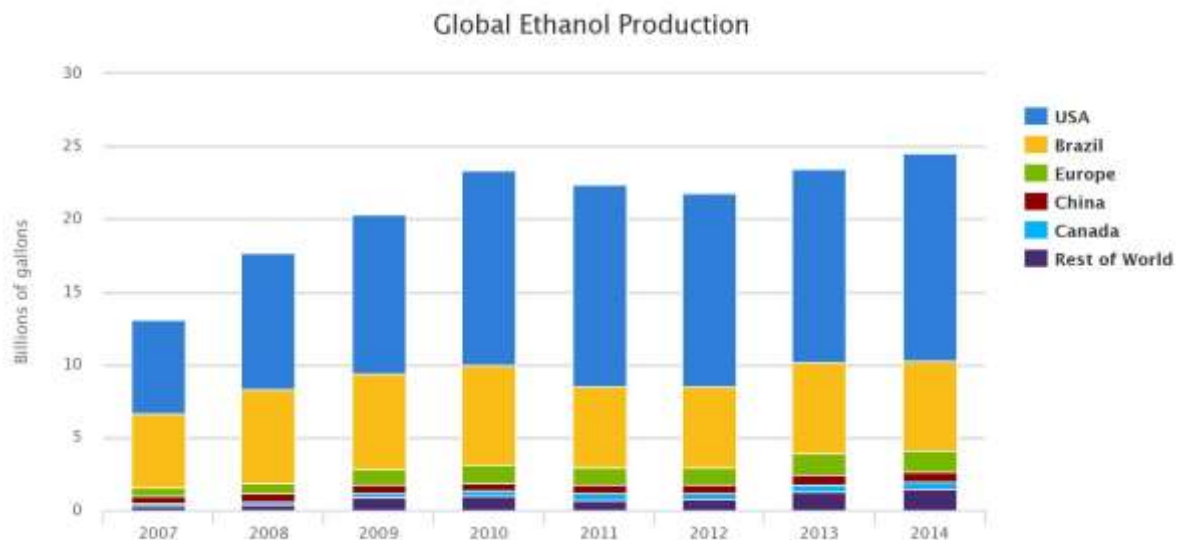
### 3.2.6 Etanol

Etanol nebo také etylalkohol ( $C_2H_5OH$ ) patří k alternativním formám motorových paliv, které je obnovitelné, zcela spalitelné a spolehlivější než tradiční benzín. Vyrábí se fermentací téměř libovolného materiálu, který obsahuje škrob nebo cukr, což mohou být například brambory, cukrová třtina, topinambur a další zemědělské plodiny. V úvahu

přichází také výroba etanolu z celulózy obsažené ve dřevě, kukuřičných stonků a rýžové slupky. Výroba bioetanolu je schopna stimulovat zemědělskou výrobu a zlepšovat ekonomiku i životní prostředí.

Nejčastěji se používá ne čistý bioetanol, ale jeho směs s benzínem, což slouží k zvýšení oktanového čísla a snížení emise. Základní směsi jsou nazývány „gasohol“ a obsahují 10 procent etanolu a 90 procent bezolovnatého benzínu a druhá směs obsahuje 85 procent etanolu a 15 procent bezolovnatého benzínu, který je také nazývaný „E85“. Gasohol není vnímán jako alternativní palivo, takže se v úvahu přichází jen E85. Auto, které běží na E85 také nazýváme automobilem s univerzální spotřebou paliva. Etanol přidaný do benzínu přispívá k plnému spalování. Použití E85, stejně jako její koncentrovanější směsi E95 výrazně snižuje spotřebu ropných produktů a emisí skleníkových plynů. Není ovšem bez nevýhod. Při použití etanolu jako paliva se uvolňuje méně energie než při spalování stejného množství benzínu, což vede ke zvýšené spotřebě pohonných hmot. Další nevýhodou je problém zapalování za nízkých teplot.

Graf níže ukazuje, že ve světové produkci etanolu v letech 2011 a 2012 došlo k mírnému poklesu výroby, ale vzápětí začal nárůst a vrcholu bylo dosaženo v roce 2014 s tím, že stále roste. USA je největším světovým producentem etanolu, v roce 2014 vyrobilo více než 14 miliardy galonů. USA a Brazílie dohromady produkují 83% světové produkce etanolu. Drtivá většina etanolu ve Spojených státech se vyrábí z kukuřice, zatímco v Brazílii se pro výrobu využívá většinou cukr.



Obrázek 15 - Světová produkce etanolu. [15]

[Zdroj: 55, 56, 57]

### 3.2.7 Metanol

Metanol nebo též metylalkohol  $\text{CH}_3\text{OH}$ . Bezbarevná hořlavá kapalina, prakticky bez zápachu. Metanol se smísí v jakémkoliv poměru s vodou, acetonem, etanolem atd.

Interakce se vzduchem tvoří výbušné směsi. Dříve se metanol syntetizovali pomocí zink-chromového katalyzátoru.

V dnešní době je průmyslovým způsobem výroby metanolu katalytická syntéza z oxidu uhelnatého a vodíku při teplotě 250 °C. Kromě toho lze získat biometanol z mořského fytoplanktonu, což je dnes jedním z nejslibnějších směrů v oblasti biopaliv. Hlavním argumentem ve prospěch použití mikroskopické řasy je vysoká produktivita fytoplanktonu a ve výrobě nepoužívána pitná voda. Navíc proces nekonkuruje se zemědělskou výrobou. Při použití metanolu jako paliva je důležité poznamenat, že objemová a hmotnostní energetická kapacita metanolu je o polovinu menší než u benzínu a to, že vysoké výparné teplo metanolu způsobuje lepší plnění válců motoru a snižuje její tepelné namáhání a tím i dokonalejšího spalování lího-vzduchové směsi. Důsledkem toho roste výkon motoru a točivý moment. Například motory závodních automobilů pracujících na metanolu mají kompresní poměr vyšší než 15:1, zatímco u běžného spalovacího motoru s jiskrovým zapalováním kompresní poměr pro bezolovnatý benzín obvykle nepřesahuje 11,5:1. Metanol se používá nejen ve spalovacích motorech, ale také k výrobě elektrické energie ve speciálních palivových člancích.

Co se týče infrastruktury, je možné použít existující infrastrukturu benzínu. Mezi nevýhody lze zařadit schopnost metanolu vtahovat vodu, což vede k rozvrstvení palivové směsi benzínu a metanolu. Druhou velkou nevýhodou je, že metanol je vysoce toxická látka a malé množství může být pro člověka fatální.

[Zdroj: 39, 40, 41, 42]

### 3.3 Shrnutí

Ve světle výše uvedeného lze jasně spatřovat trend rostoucí popularity alternativní dopravy a alternativního paliva. Například Kalifornie má již dlouho reputaci jednoho z nejprogresivnějších míst na Zemi, kdy právě zde legislativa často dává zelenou nejnovějším technologiím a vynálezům. Výjimkou samozřejmě není podpora vozidel s alternativními pohonnými hmotami.

Podle přijatého zákona o dopravních prostředcích s nulovou emisí musí do roku 2025 22% všech prodaných vozů neprodukovat škodlivé emise do atmosféry. Spolu s deseti dalšími státy, které přijaly podobnou legislativu, by v roce 2025 na amerických silnicích mělo být o více než 3 miliony více ekologicky čistých vozů. Dnes již lze pozorovat počátek vývoje vodíkového automobilového průmyslu, ale skutečnou konkurenci auta na palivových člancích budou schopné představit konkurentům pravděpodobně jen s příchodem modelu druhé generace, který bude levnější a spolehlivější. Lze jej očekávat v blízké budoucnosti a s jeho příchodem by již na silnicích měla být poměrně rozvinutá síť čerpacích stanic.

Co se týče paliva samotného, vodík, stejně jako i další alternativní paliva, je řešením problémů v oblasti životního prostředí a problémů vyčerpávání fosilních paliv. Zásoby vodíku je velmi obtížné vyčerpávat, bere-li se v úvahu fakt, že vodík představuje významnou část látky ve vesmíru a na Zemi je částí vody, jenž pokrývá dvě třetiny povrchu planety.

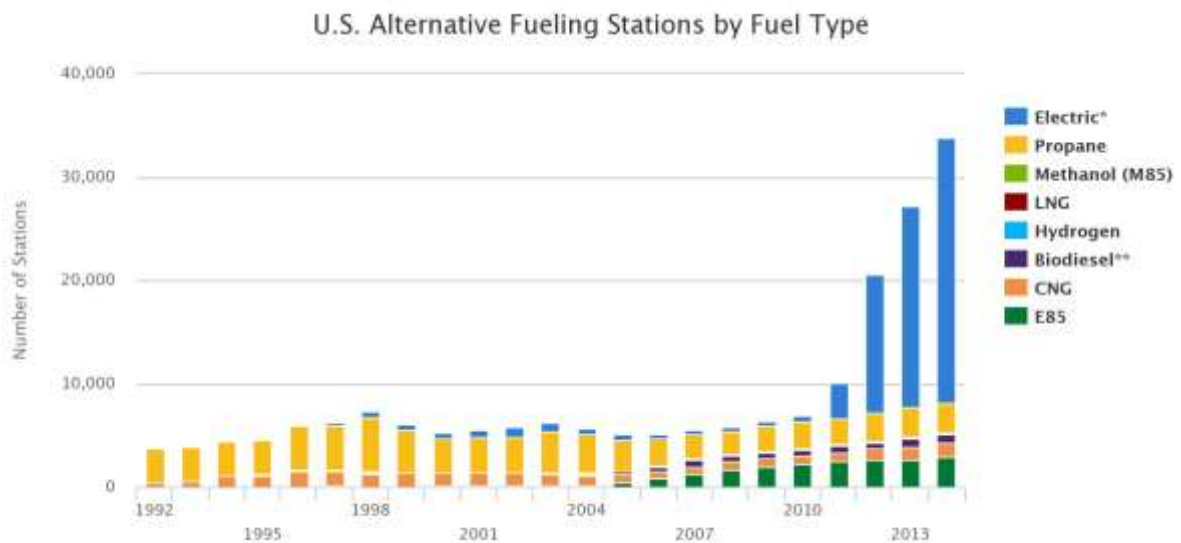
Na rozdíl od fosilních paliv (ropa, uhlí, zemní plyn) není vodík připraven k použití jakožto zdroj energie, ale je považován za její nosič. Tedy vzít vodík v jeho čisté formě, jako je např. při užití uhlí a použít jej pro získávání energie není možné. Nejdříve je nutné



vynaložit energii k získání čistého vodíku, vhodného pro použití v palivových článcích. V současné době je zřejmé, že nedejde-li k řádné technologické revoluci, budou auta blízké budoucnosti převážně buď elektrická, nebo vodíková. U každé varianty rozvoje automobilového průmyslu lze spatřovat jak výhody, tak i nevýhody. Čerpací stanice pro vodíkové palivo je mnohem snazší postavit na základě současných benzínových čerpacích stanic, což na druhou stranu nelze říct o infrastruktuře pro vozidla na elektrickém pohonu. Nicméně, podle amerického ministerstva energetiky se množství čerpacích stanic schopných dobít elektrických aut zvyšuje každým rokem poměrně rychle.

Dá se konstatovat, že separace na vodíková auta a elektrická auta je umělá, protože v obou případech stroj využívá elektřinu k pohybu. Jen v elektrocarech je zásobena ve formě pro nás víceméně známé, přímo v bateriích a v palivových článcích, kdy je možné kdykoliv přidat látku, která v důsledku reakce bude měnit chemickou energii na energii elektrickou.

Jak se často stává, svět není černobílý a vodík nebude jediným zdrojem energie v budoucnosti. Tento prvek, spolu s dalšími alternativními zdroji energie, bude součástí řešení problému znečištění životního prostředí a ztráty přírodních fosilních paliv. Perspektiva tohoto druhu paliva a aut na vodíkový pohon se začne evidentně projevat v blízké budoucnosti s příchodem prvních masově vyráběných aut na silnicích.



Obrázek 16 - Alternativní čerpací stanice podle typu paliva. [16]

## 4 Praktická část

Cílem praktické části BP bylo navrhnout a vyzkoušet ovládací systém pro pasivní naklápění tříkolového podvozku experimentálního vozidla s elektropohonem.

V následujícím textu bude vozidlo stručně popsáno. Návrh vozidla byl podrobně popsán v DP pana Petra Vlasáka, na základě které čerpá i uvedený popis. *Viz. kapitola 4.1. Popis vozidla.*

Naklápění vozidla není v současné době dořešeno a cílem bylo vytvořit otevřený programovatelný systém, který by v této první fázi umožnil pasivní naklápění (tj. naklápění vozidla ovládané manuálně jezdcem) a současně umožnil budoucí rozšíření o sensory a další prvky tak, aby bylo možné realizovat naklápění aktivní (tj. autonomní, závislé na momentální rychlosti vozidla a poloměru zatáčení, ale neovládané přímo jezdcem).

Jako základ systému byla zvolena hobby platforma Arduino, založená na 8mí bitovém procesoru Atmel, která splňuje výše uvedené požadavky, její programování je uživatelsky velmi přívětivé a nemá vysoké nároky na HW a vývojový SW.

Celá aplikace byla v první fázi vytvořena a odzkoušena „na stole“ s využitím dílů používaných ve výuce – této části se věnuje *kapitola 4.2 Testovací aplikace.*

Po odladění byla naprogramovaná deska Arduino a přenesena na vozidlo, pak zaměněny některé komponenty (driver krokového motoru a ovládací potenciometr). Toto je popsáno v *kapitole 4.4*

### 4.1 Popis vozidla

V této části bude popsáno naše experimentální vozidlo, pro které tvoříme řízení naklápěcího mechanismu. Vozidlem je jednomístná tříkolka se dvěma rovnoběžně naklápěcími koly vepředu a jedním nenaklápěcím kolem vzadu. 26" cyklistické kola vyráběny z hliníkové slitiny, rozchod mezi předními koly je 890 mm, což je současně i šířka tříkolky. Délka tříkolky je 2240 mm. Naklápěcí mechanismus je poháněn krokovým motorem SX34-2970 s převodovkou Eisele EPL-SA 84. Další charakteristiky jsou uvedeny v *tabulce 1.*



Obrázek 17 - Experimentální tříkolové vozidlo.



Obrázek 18 - Krokový motor SX34- 2970.

Krokový motor SX34-2970		Planetová převodovka Eisele EPL-SA 84	
Statický moment [Nm]	7	Převodový poměr i [-]	35
Jmenovitý proud [A]	2,9/5,8	Nominální moment [Nm]	100
Indukčnost [mH]	16,4/4,1	Maximální dovolený moment [Nm]	216
Odpor [ $\Omega$ ]	1,5/0,375	Účinnost [-]	0,92
Moment setrvačnosti rotoru [ $\text{kgm}^2 \times 10^{-3}$ ]	0,18	Hmotnost [kg]	3,1
Hmotnost [kg]	3	Maximální radiální zatížení hřídele [N]	1300

Tabilka 1- Parametry krokového motoru SX34-2970 a planetové převodovky Eisele  
[Zdroj: hodnoty převzaty z diplomové práce pana Petra Vlasáka]

## 4.2 Testovací aplikace

Jak již bylo řečeno výše, nejdříve je programována aplikace pro použití „na stole“. K tomuto je zapotřebí desky Arduino a dalších komponentů. V následujícím textu budou popsány jednotlivé komponenty, které byly použity při návrhu řízení naklápěcího mechanismu.

#### 4.2.1 Arduino Uno

Arduino Uno je řadič postavený na ATmega328. Platforma má 14 digitálních vstupů/výstupů (z toho 6 lze použít jako výstupy PWM), 6 analogových vstupů, krystalový oscilátor s frekvencí 16 MHz, konektor USB, napájecí konektor, konektor ICSP a tlačítko reset. Pro práci je třeba připojit platformu k počítači pomocí USB kabelu, nebo přidat napájení pomocí adaptéru AC/DC nebo baterii.

Pro připojení pomocí USB Arduino Uno používá mikrořadič ATmega8U2. Arduino Uno může být napájen jak z USB připojení, tak i z externího zdroje: baterie nebo obyčejné elektrické sítě. Zdroj se určuje automaticky. Externí napájení (ne USB) může být dodáváno přes konvertor napětí AC/DC (napájecí zdroj), nebo baterií. Měníč napětí se připojuje pomocí konektoru 2,1 mm s centrálním kladným pólem. Vodiče se z baterie připojují k



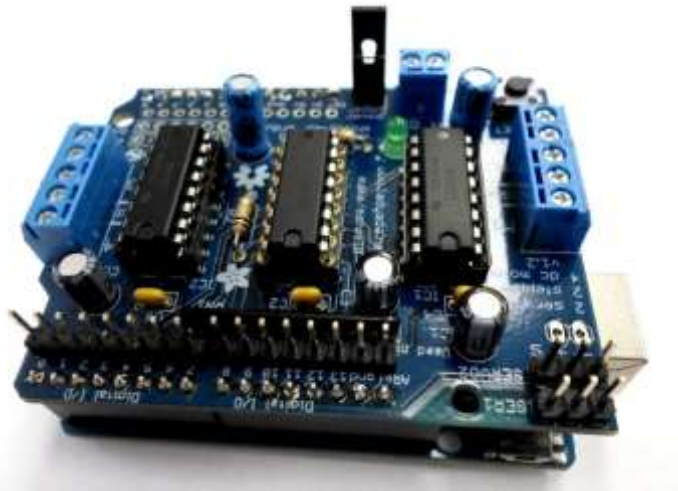
Obrázek 19 - Deska Arduino Uno.

Gnd a Vin napájecího konektoru. Platforma může být provozována s externím napájením 6 V až 20 V. Pokud je napájecí napětí pod 7 V, 5V výstup může vydávat méně 5V, přičemž platforma může pracovat nestabilně. Při použití napětí nad 12 V, může v regulátoru napětí dojít k přehřátí, což může poškodit desku. Doporučený rozsah je 7-12 V.

Platforma se programuje pomocí SW Arduino. Z nabídky Tools > Board se zvolí «Arduino Uno» (podle stanoveného mikrokontroléru), do které pak se nahraje programní kód. Podrobné informace lze nalézt v manuálu a pokynech. ATmega328 mikrokontrolér je dodáván s nahaným zavaděčem, který usnadňuje nahrávání nových programů. Komunikace se realizuje originálním protokolem STK500. Existuje možnost nepoužívat zavaděč a naprogramovat mikrokontrolér přes výstupy ICSP. Detailnější informace také lze nalézt v manuálech.[43]

#### 4.2.2 Adafruit Motor Shield

Univerzální ovladač pro všechny typy motorů - Adafruit Motor, krokový nebo servo-motor- na regulátoru Arduino. Na desku lze připojit až 4 elektromotory kolektorního typu nebo dva krokové a dále také dva servomotory. Místo L293D s tranzistory Darlingtona je umístěn MOSFET ovladač TB6612 s pracovním proudem 1.2A na kanál a maximálním proudem 3A. Vzhledem k malému vnitřnímu odporu baterie dostává více energie a díky tomu je schopna delšího provozu. Namísto použití výstupu v provozním režimu PWM používá Arduino speciální mikroschéma PWM ovladače, které je řízeno přes I2C. Tímto způsobem se pouze 2 výstupy používají k ovládání všech motorů a několik shieldů může být použito společně. 5 adresních vstupů umožňuje připojit až 32 shieldů, tedy až 128 kolektorních motorů, což ovšem pro praktické využití nemá velkého významu.[44]



Obrázek 20 - Adafruit Motor Shield.

#### 4.2.3 Krokový motor

Krokový motor je synchronní střídavý motor s několika vinutími, ve kterém je proud dodáván do jednoho z vinutí statoru, který způsobí fixaci rotoru. Jinými slovy, jedná se o elektromechanické zařízení, které slouží k převodu řídicího signálu k pohybu rotoru. Přemístění probíhá s fixací v určité poloze a může být dvojího typu - úhlové nebo lineární. Krokový motor může být považován za motor stejnosměrného proudu bez kolektorního uzlu. Krokové motory jsou běžně používány v projektech, které vyžadují vysokou přesnost, zejména se používají v robotickém vývoji a CNC strojích. V našem případě pro použití „na stole“ budeme pracovat s motorem Mercury SM42BYG011-25 který je na obrázku 21.[45, 48]



Obrázek 21 - Krokový motor Mercury SM42BYG011-25.



#### 4.2.4 Joystick shield kit

Pro pasivní řízení naklápěcího mechanismu bude použit joystick od výrobce SparkFun, model SP94. Sada obsahuje čtyři tlačítka a samotný joystick. Shield bude umístěn na horní straně desky Arduino.[46]



Obrázek 22 - Joystick shield kit. [17]

#### 4.2.5 Driver krokového motoru

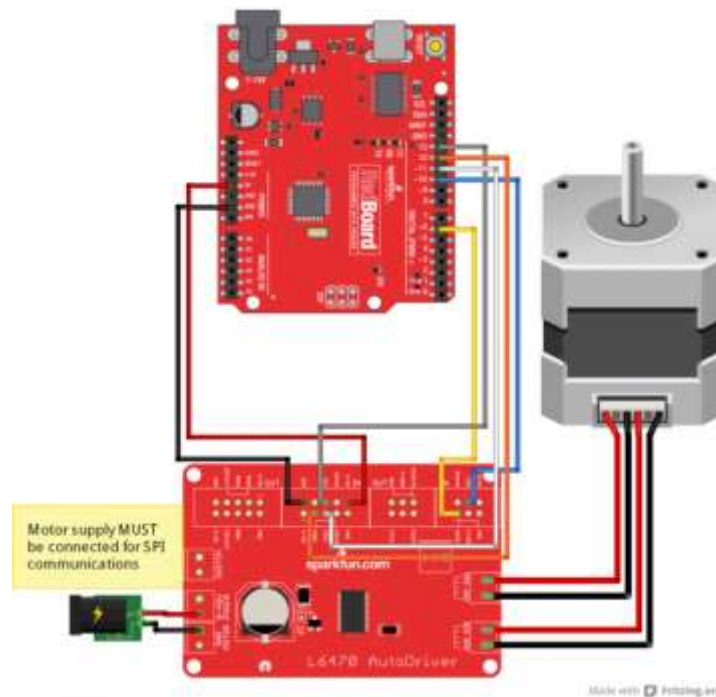
Deska AutoDriver výrobce Spark Fun je založena na driveru krokového motoru STMicro L6470 dSPIN. Tento čip umožňuje ovládání napětí krokového motoru prostřednictvím připojení SPI. Regulátor má oscilátor s frekvencí 16 MHz, což umožňuje samostatně provádět příkazy pohybu. Jinak řečeno, žádný další počet kroků v kódu.[47]



Obrázek 23 - Driver krokového motoru.

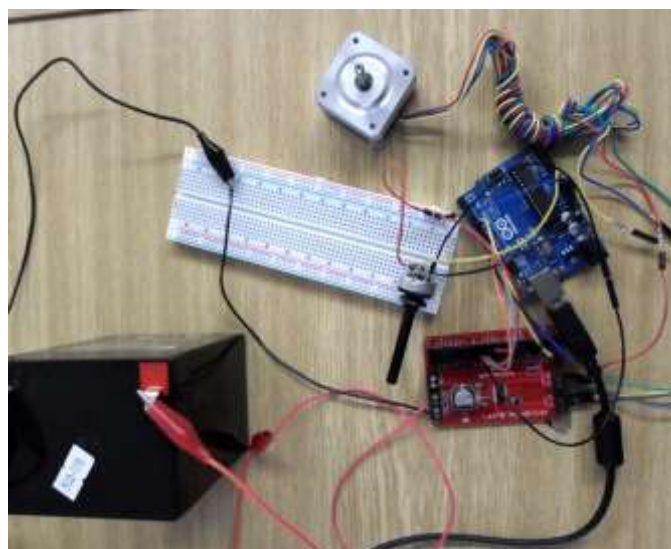
### 4.3 Popis zapojení HW

Zapojení krokového motoru do desky Arduino a driveru od SparkFun bylo provedeno podle schématu na *obrázku 24*. Jako zdroj napětí byla použita externí baterie.



Obrázek 24 - Schéma připojení krokového motoru a driveru. [18]

Při zkoušení „na stole“ bylo místo joysticku použito potenciometru, kterým jsme řídili krokový motor. Pro jeho připojení byla potřeba malá změna systému zapojení a použito nepájivé pole pro zvětšení počtu portů. Konečný stav celého systému lze vidět na *obrázku 25*.



Obrázek 25 - Zapojení HW.

Po připojení na desku Arduino byl nahrán kód programu který je uveden níže. Po odladění tohoto programu bylo toto přeneseno na vozidlo.

Zdrojový kód programu na ovládání krokového motoru pomocí potenciometru:

```
#include <SparkFunAutoDriver.h>
#include <SPI.h>

int prev = 0; // 0-255 krajni polohy
int val = 127,5;
int trRatio = 4,6;

AutoDriver boardA(10, 6);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("START");
  // pouze pro kontrolu hodnot ovladace
  dSPINConfig();
}
void loop()
{
  val = map(analogRead(0), 0, 1023, 0, 255); // prevod 10bit na 8bit
  val = val-127; // odchylka od stredu
  if (val == prev)
    { //nedelej nic
    }
  else
    {
      prev = val;
      val = val - prev; // zmena proti predchozi hodnote
      if (val >0) boardA.run(FWD, trRatio*abs(val));
      else boardA.run(REV, trRatio*abs(val));
    }
  Serial.println(val);
  delay(2000);
}

// This is the configuration function for the dSPIN part. Read the inline
// comments for more info.

Void dSPINConfig(void)
{
  boardA.configSyncPin(BUSY_PIN, 0); // BUSY pin low during operations;
  // second 25parameter ignored.
  boardA.configStepMode(STEP_FS); // 0 microsteps per step
  boardA.setMaxSpeed(100); // 100 steps/s max
  boardA.setFullSpeed(100); // microstep below 100 steps/s
  boardA.setAcc(50); // accelerate at 50 steps/s/s
  boardA.setDec(50);
  boardA.setSlewRate(SR_530V_us); // Upping the edge speed increases torque.
  boardA.setOCThreshold(OC_750mA); // OC threshold 750mA
  boardA.setPWMFreq(PWM_DIV_2, PWM_MUL_2); // 31.25kHz PWM freq
  boardA.setOCShutdown(OC_SD_DISABLE); // don't shutdown on OC
  boardA.setVoltageComp(VS_COMP_DISABLE); // don't compensate for motor V
  boardA.setSwitchMode(SW_USER); // Switch is not hard stop
  // boardA.setOscMode(INT_16MHZ_OSCOUT_16MHZ); // for boardA, we want 16MHz
  // internal osc, 16MHz out. boardB and
  // boardC will be the same in all respects
  // but this, as they will bring in and
  // output the clock to keep them
  // all in phase.
  boardA.setAccKVAL(255); // We'll tinker with these later, if needed.
  boardA.setDecKVAL(255);
  boardA.setRunKVAL(255);
  boardA.setHoldKVAL(50); // This controls the holding current; keep it low.
}
```



#### 4.4 Aplikace na vozidle

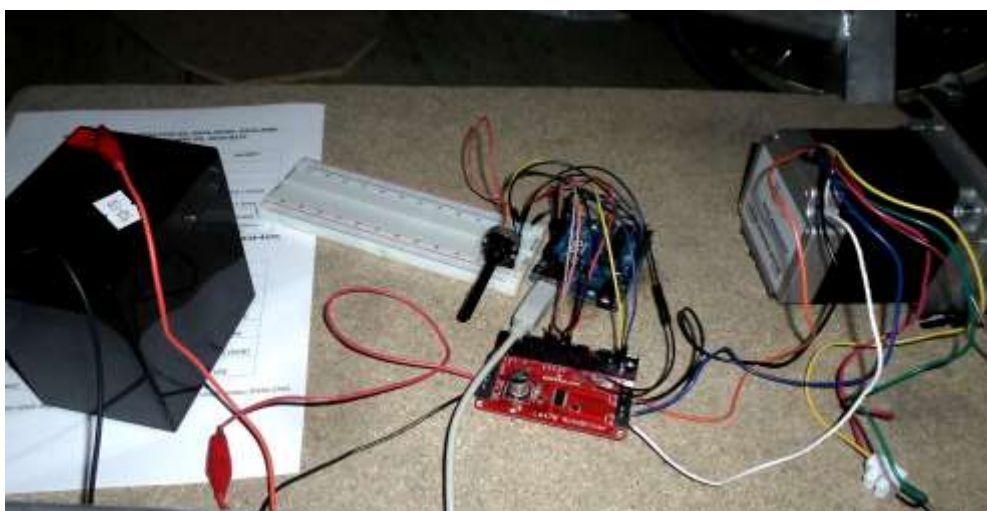
Tato kapitola se věnuje ověření funkčnosti navržené varianty řízení naklápěcího mechanismu. Po přenosu byl krokový motor z experimentu na stole vyměněn za krokový motor na našem vozu.

Potenciometr byl využit pouze pro otestování funkce. Pro reálný provoz bude vyměněn za ovladač, který je na *obrázku 26*. Tento bude zamontován do říditka s levé strany. Současně má říditko z pravé strany brzdící páka a podobný ovladač na přidávání plynu.



Obrázek 26 - Ovladač naklápěcího systému.[19]

Na obrázku 27 je vidět zapojení obvodu na testovacím vozidle, a na obrázku 28 skutečné naklápění.



Obrázek 27 - Zapojení obvodu na testovacím vozidle



*Obrázek 28 - Naklápění podvozku*

## 5 Závěr

Má práce se zabývala problematikou alternativních vozidel a jako důsledek i problematikou alternativních zdrojů energie, což otázka v posledních letech velmi aktuální. Oblast tříkolových vozidel, na kterou byla soustředěna má práce, je jednou z oblastí alternativních vozidel, která může významně přispět k budoucímu řešení problémů jak individuální dopravy, tak i dopravního systému jako celku.

V teoretické části této práce byly prozkoumány současní výrobci tříkolových vozidel a také alternativní dopravní systémy a alternativní paliva.

Dále se práce zabývá experimentálním tříkolovým podvozkem, přesněji řízením jeho naklápěcího mechanismu. Cílem bylo navrhnout ovládání tohoto vozidla a poté ověřit funkčnost navržené varianty.

Úkol byl splněn v plném rozsahu a dalšími kroky v rozvoji řízení bude zdokonalení programového kódu, hardwaru pro řízení a také i vývoj konstrukčního řešení pro ergonomicky pohodlné umístění ve vozidle.

## Seznam použité literatury a informačních zdrojů

### 1. INTERNETOVÉ ZDROJE A PUBLIKACE

- [1] <http://microcarmuseum.com/tour/velocar-camionette.html>
- [2] <http://microcarmuseum.com/tour/peugeot-vlv.html>
- [3] <http://adventuresinmotorcycling.com/2014/06/28/1985/#jp-carousel-991>
- [4] <http://alkatrion.com/?p=14622>
- [5] <http://www.autofocus.ca/news-events/features/world-s-cutest-cop-car-manitoba-built-go-4-always-gets-its-man>
- [6] <http://www.technologicvehicles.com/fr/details/657/drymer-business-prix-et-fiche-technique>
- [7] [http://www.toyota-global.com/showroom/toyota\\_design/concept\\_cars/gallery\\_i-road.html](http://www.toyota-global.com/showroom/toyota_design/concept_cars/gallery_i-road.html)
- [8] <http://www.fd.cvut.cz/projects/k620x1c/>
- [9] <http://zesttrans.com/решения/prt-zest>
- [10] <http://zesttrans.com/решения/tram-zest>
- [11] <http://zesttrans.com/решения/g-way-zest>
- [12] <http://www.tom.travel/2015/06/a-quoi-ressembleront-les-trains-du-futur/>
- [13] <http://www.voteyesborders.com/2015/01/>
- [14] <http://www.voteyesborders.com/2015/01/>
- [15] <http://www.afdc.energy.gov/data/10331>
- [16] <http://www.afdc.energy.gov/data/10332>
- [17] <http://www.hwkitchen.com/products/joystick-shield-kit/>
- [18] [https://learn.sparkfun.com/tutorials/getting-started-with-the-autodriver?\\_ga=1.143479857.549837330.1434894174](https://learn.sparkfun.com/tutorials/getting-started-with-the-autodriver?_ga=1.143479857.549837330.1434894174)
- [19] <http://www.i4wifi.cz/Elektricka-kola/NAHRADNI-DIL-Akcelerator-pro-ovladani-palcem.html>
- [20] <http://microcarmuseum.com/tourindex.html>  
Citováno dne: 10. 10. 2014
- [21] <http://www.twike.com/>  
Citováno dne: 11. 10. 2014
- [22] <http://westwardindustries.com/>  
Citováno dne: 11. 10. 2014
- [23] <http://www.drymer.nl/>

Citováno dne: 11. 10. 2014

[24] [http://www.toyota-global.com/innovation/personal\\_mobility/i-road/](http://www.toyota-global.com/innovation/personal_mobility/i-road/)

Citováno dne: 12. 10. 2014

[25] <http://www.fd.cvut.cz/projects/k620x1c/CT-CZE.pdf>

Citováno dne: 8. 4. 2015

[26] <http://www.fd.cvut.cz/projects/k620x1c/>

Citováno dne: 8. 4. 2015

[27] <http://zesttrans.com/>

Citováno dne: 11. 3. 2015

[28] <http://www.skytran.us/>

Citováno dne: 12. 12. 2014

[29] <http://wattnow.org/1611/motionpower>

Citováno dne: 18. 12. 2014

[30] <http://www.innowattech.co.il/>

Citováno dne: 20. 1. 2015

[31] <http://www.eia.gov/>

Citováno dne: 27. 5. 2015

[32] <http://www.afdc.energy.gov/laws/391>

Citováno dne: 27. 5. 2015

[33] <http://www.afdc.energy.gov/fuels/electricity.html>

Citováno dne: 27. 5. 2015

[34] [http://www.afdc.energy.gov/fuels/hydrogen\\_basics.html](http://www.afdc.energy.gov/fuels/hydrogen_basics.html)

Citováno dne: 28. 5. 2015

[35] <http://www.alternative-energy-news.info/technology/hydrogen-fuel/>

Citováno dne: 28. 5. 2015

[36] <http://www.greencarcongress.com/2008/10/mazda-delivers.html>

Citováno dne: 30. 5. 2015

[37] <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily-1/prvni-vodikova-cerpaci-stanice-v-cr-zatim-ji-vyuzije-jen-jeden-autobus.aspx>

Citováno dne: 4. 11. 2014

[38] <http://www.cng.cz/cs/statiska-cr-evropa-svet/>

Citováno dne: 12. 2. 2015

[39] <http://www.ensy.ru/energiya/preimuschestva-i-nedostatki-propana-v-kachestve-topliva-dlya-dvigatelye.html>

Citováno dne: 11. 4. 2015

[40] <http://www.eere.energy.gov/afdc/altfuel/altfuels.html>

Citováno dne: 11. 4. 2015

[41] [http://polyguanidines.ru/a\\_guanidini&metanol&2.htm](http://polyguanidines.ru/a_guanidini&metanol&2.htm)

Citováno dne: 14. 6. 2015

[42] [http://www.metzger.chemie.uni-oldenburg.de/Archiv/aktuelles/aktuelles2006/AngewChemOlah\\_d.pdf](http://www.metzger.chemie.uni-oldenburg.de/Archiv/aktuelles/aktuelles2006/AngewChemOlah_d.pdf)

Citováno dne: 14. 6. 2015

[43] <http://www.hwkitchen.com/products/arduino-uno-rev3/>

Citováno dne: 22. 6. 2015

[44] <http://www.hwkitchen.com/products/adafruit-motor-stepper-servo-shield-kit/>

Citováno dne: 22. 6. 2015

[45] <http://medialappi.net/lab/equipment/other/mercury-stepper-motor-sm-42byg011-25/>

Citováno dne: 22. 6. 2015

[46] <http://www.hwkitchen.com/products/joystick-shield-kit/>

Citováno dne: 22. 6. 2015

[47] <http://www.pvelectronic.eu/SparkFun-AutoDriver-Stepper-Motor-Driver-d627.htm>

Citováno dne: 22. 6. 2015

[48] <http://www.radiokot.ru/lab/controller/22/>

Citováno dne: 23. 6. 2015

[49] <http://www.ethanolrfa.org/page/-/rfa-association-site/pdf/student-essay.pdf>

Citováno dne – 24. 6. 2015

[50] <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/58.pdf>

Citováno dne 24.6.2015

[51] <http://www.nrel.gov/docs/fy05osti/37135.pdf>

Citováno dne: 24.6.2015

## 2. KNIŽNÍ PUBLIKACE

[1] Bolšaja enciklopedija transporta: [v osmi tomach]. Sankt-Peterburg: "Ělmor", 1995. ISBN 52-170-2778-9.

[2] Jedinaja transportnaja sistema. Moskva: MPS, 1996, 159 s. ISBN 5-277-01885-9.

[3] Transport: Istorija, sovremennost', perspektivy, problemy. Moskva: Nauka, 1985

[4] Transportnaja logistika: Uchebnik dlja transportnyh vuzov. Moskva: Ekzamen, 2003. ISBN 5-94692-036-7.

- [5]Logistika XXI veka i edinoe evrazijskoe informacionnoe prostranstvo. Moskva: Nauka, 2014. ISBN 978-5-9902337-2-0.
- [6]Railway safety, reliability, and security: technologies and systems engineering. Hershey PA: Information Science Reference, 2012, xxii, ISBN 978-146-6616-455.