

UNIVERZITA PARDUBICE

Dopravní fakulta Jana Pernera

Ideový návrh koncepce vozidla pro ecorallye

Bc. Lukáš Bačkovský

Diplomová práce

2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš BAČKOVSKÝ**  
Osobní číslo: **D09653**  
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**  
Název tématu: **Ideový návrh koncepce lehkého motorového vozidla pro ecorallye**  
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

Osnova

- 1) Úvod
- 2) Současný stav
- 3) Ideový návrh řešení
- 4) Stanovení dalšího postupu při přípravě realizace
- 5) Závěr



Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

**Relevantní materiály získané z rešeršního průzkumu**

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.**

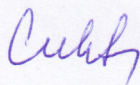
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce:

**25. února 2011**

Termín odevzdání diplomové práce:

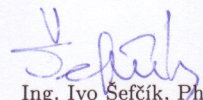
**23. května 2011**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



Ing. Ivo Šefčík, Ph.D.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2011

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/200 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne

Lukáš Bačkovský

## Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat rodičům za poskytnutí zázemí, které mi umožnilo propracovat se čtyřmi semestry navazujícího magisterského studia a vedoucímu diplomové práce za vedení a konzultace, které byly přínosem pro moji práci.

## ANOTACE

Práce se zabývá základním ideovým návrhem koncepce experimentálního vozidla. Ideové návrhy všech klíčových systémů jsou porovnány s požadavky pořadatele. Poté jsou začleněny do výsledné koncepce.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Rámy, pohon vozidla, celková koncepce vozidla, ideový návrh

## TITLE

Plan of concept of light motor-powered vehicle for ecorallye

## ANNOTATION

The work deals with basic plan of concept of experimental vehicle. Plan of concepts of all key systems are adjusted to requirements of organizers.

## KEYWORDS

Frames, propulsion, overall concept of vehicle, plan of concept

## Obsah

1. Úvod.....	8
2. Požadavky pořadatele závodu.....	8
2.1. Rozměrové a hmotnostní požadavky na vozidlo.....	9
2.2. Požadavky na pohonné ústrojí.....	10
2.3. Bezpečnostní požadavky na konstrukci.....	12
2.4. Další požadavky na vozidlo.....	13
3. Síly působící na vozidlo.....	15
Rozbor sil působících na vozidlo.....	15
3.1. Valivý odpor.....	16
3.2. Odpor vzduchu.....	16
3.3. Setrvačný odpor.....	17
3.4. Problematika jízdního cyklu.....	18
4. Koncepce vozidla.....	25
4.1. Aerodynamická stránka návrhu.....	27
4.2. Nosný prvek.....	31
4.3. Brzdová soustava.....	34
4.4. Pohonné ústrojí.....	36
4.5. Řízení.....	38
4.6. Použité materiály.....	42
4.7. Systémy otvírání prostoru pro posádku.....	43
5. Vlastní návrhy koncepce.....	46
5.1. Koncepce č. 1.....	46
5.2. Koncepce č. 2.....	47
5.3. Koncepce č. 3.....	48
6. Stanovení dalšího postupu při přípravě realizace.....	48
7. Závěr.....	50
Seznam obrázků.....	53
Seznam příloh.....	54



## 1. Úvod

V dnešní době je svět stále tlačěn ke snižování spotřeby fosilních paliv. Automobilky mají k tomuto účelu k dispozici několik prostředků. Mohou například použít pneumatiky s nízkým valivým odporem, poupravit aerodynamiku vozu, použít motor s lepší účinností. Bohužel jsou však limitovány zákony a normami, které se týkají provozu na silničních komunikacích. Dále jsou výrobci limitováni rentabilitou jednotlivých řešení. Vývoj vedoucí ke snižování spotřeby pohonných může být urychlen zapojením nových a kreativních lidí. Tito lidé mohou přispět svými nekonvenčními a neotřelými řešeními. Jednou z možností, jak tyto řešení porovnat, je uspořádání závodu, ve kterém vyhrává nejnižší spotřeba. Společnost Shell pořádá závody na uzavřených tratích po celém světě. Tato její aktivita je chvályhodná, neboť poskytuje studentům možnost získat praxi, zkušenosti a zlepšit se ve svém oboru, ale také umožňuje zrealizovat některé nápady, jejichž použití na silničních komunikacích zatím není možné. Cílem této práce je vytvořit ideový návrh koncepce vozidla, které se může zúčastnit těchto závodů. V úvodu se tato diplomová práce zabývá rozbořem současného stavu problematiky experimentálních vozidel. Jejich účelem je ověření nových konstrukčních postupů zaměřených na snižování spotřeby pohonných hmot. Jsou zde také uvedeny požadavky na vozidlo ze strany pořadatele. Dále se práce zabývá ideovým zapojením jednotlivých součástí do ucelené koncepce. V závěru je uveden seznam kroků, jak by se mělo postupovat při dalším řešení této problematiky.

## 2. Požadavky pořadatele závodu

Na vozidlo týmu, který se chce zúčastnit prototypové kategorie, jsou ze strany pořadatele závodu kladeny určité požadavky. Tyto požadavky mají několik cílů:

- a) Zajistit porovnatelnost výsledků. Jestliže vozidla mají podobné rozměry a podobné pohony, tak jejich spotřeba musí být na stejné úrovni.
- b) Zajistit bezpečnost samotných závodníků, týmových kolegů a diváků. Bezpečnost lidí je důležitá při vývoji vozidla pro silniční komunikace, ale i u vozidla určeného pro experimentální podmínky.
- c) Ulehčit práci konstruktérům, tím že jim takto poskytne tipy, jak by mělo vozidlo vypadat a co by mělo a nemělo obsahovat.



Požadavky pořadatele závodu můžeme rozdělit do několika kategorií. Jsou to požadavky na rozměry a hmotnost vozidla. Dále na systém pohonného ústrojí, jež v sobě obsahují i seznam povolených paliv. Mezi další požadavky patří i omezení platící pro řízení, brzdy, kola a bezpečnostní prvky.

### **2.1. Rozměrové a hmotnostní požadavky na vozidlo**

V pravidlech poskytnutých pořadatelem závodu se celá kapitola 3A věnuje požadavkům na vozidlo prototypové kategorie.

V článku 25 jsou uvedeny požadavky na návrh vozidla v následujícím znění:

Během návrhu vozidla, jeho výroby a plánování a samotné účasti musí týmy brát ohled na všechny aspekty týkající se bezpečnosti. Tzn. bezpečnosti řidiče, bezpečnosti ostatních členů týmu a bezpečnosti diváků.

- Vozidla musí mít tři nebo čtyři kola, které musí být při provozu ve stálém styku s vozovkou.
- Aerodynamické prvky, které se dají nastavovat, nebo mají tendenci měnit tvar působením větru, když je vozidlo v pohybu, jsou zakázané.
- Karoserie vozidel nesmí obsahovat žádné vnější prvky, které by mohly být nebezpečné pro ostatní členy týmu, tzn. změny tvaru karoserie by měly mít minimální poloměr 5 cm. Pokud tohoto není možné docílit, měly by tyto součásti karoserie být vyrobeny z pěny nebo z materiálu s podobnými vlastnostmi.
- Interiér vozidla nesmí obsahovat žádné předměty, které by mohly zranit řidiče během srážky.
- Okna nesmí být vyrobena z materiálu, který se může roztříštit na malé střepy. Doporučené materiály: Polykarbonáty např. Lexan

V článku 26 jsou sepsány požadavky na rozměry a hmotnost vozidla.

- Výška vozidla, měřená v nejvyšším místě prostoru pro posádku, musí být menší, než 1,25 násobek většího z rozchodů.
- Rozchod vozidla musí být minimálně 50 cm.
- Celková šířka vozidla nesmí být větší než 130 cm.
- Celková délka vozidla nesmí přesáhnout 350 cm.
- Maximální hmotnost vozidla bez řidiče musí být menší než 140 kg.

- Výška vozidla nesmí přesáhnout 100 cm.

Tyto hodnoty se někomu mohou zdát, jako velice omezující a svazující, ale pokud se člověk pořádně zamyslí a podívá znovu, tak uvidí, že je tu spousta prostoru, který se dá kreativně využít.

V článcích 21 až 23 jsou uvedeny požadavky na hmotnost řidiče vozidla a jeho vybavení. Řidič vozidla v plné závodní výstroji, která se skládá z nehořlavé kombinézy, závodní helmy a závodních bot, musí vážit minimálně 50 kg. Pokud tohoto není dosaženo, osadí se vozidlo přídatným závažím, aby se celková hmotnost řidiče a závaží vyrovnala 50kg.

## **2.2. Požadavky na pohonné ústrojí**

Pořadatel povoluje používat v experimentálních vozidlech k jejich pohybu různé druhy energií a různé druhy agregátů.

- Zážehový spalovací motor
  - Poháněný 95 oktanovým benzínem.
  - Poháněný palivem E100 – 100% etanol
- Vznětový spalovací motor
  - Poháněný palivem Shell FuelSave Diesel
  - Poháněný metylesterem řepkového oleje (FAME)
- Elektromotor
  - Poháněný elektřinou z palivového článku
  - Poháněný elektřinou ze solárních panelů
  - Poháněný elektřinou z Lithium-iontových baterií.

Vzhledem k tomu, že mým oborem jsou silniční vozidla, budu jako možný pohon uvažovat spalovací motor. Toto řešení má několik důvodů. Zaprvé byla již navázána spolupráce se společností Jawa, tudíž se použití jejích motorů k pohonu experimentálního vozidla přímo nabízí.

Použití vznětového motoru k pohonu tak malého vozidla mi připadá nevhodné. Na trhu se mnoho takovýchto motorů v požadované objemové a výkonové kategorii nenachází a vývoj nového motoru by byl zdlouhavý a příliš nákladný, takže ani vyšší účinnost vznětového motoru by nevyrovnala náklady spojené s použitím tohoto typu motoru.

Jelikož je technologie palivových článků ještě ve stádiu vývoje, je cena této technologie v porovnání s ostatními neúměrně vysoká. Tento způsob pohonu s sebou přináší i jisté komplikace, např. bezpečnostní rizika při manipulaci s chlazeným vodíkem. Odlišné a přísnější bezpečnostní předpisy také mohou komplikovat vývoj vozidla.

Získávání energie ze solárních panelů považuji taktéž za ne tak výhodnou možnost. Pro získání dostatečného množství elektrické energie musí mít solární panely určitou velikost. Aby bylo možné takto velké panely umístit na vozidlo, musí neúměrně narůst velikost vozidla. Je sice možné tvarovat tyto panely do požadovaných tvarů, které jsou dány tvarem karoserie, ale tím celá náročnost výroby roste.

Lithium-iontové baterie v dnešní době fungují jako dobré zásobníky elektrické energie. Jejich výhodou je vysoká spolehlivost a malé rozměry, popřípadě i nízká hmotnost ve srovnání s např. olověnými akumulátory.

Z výše uvedených důvodů vyplývá, že nejlepším současným řešením je použití motoru od společnosti Jawa a jeho nastavení a seřízení pro pohon vozidla. Vzhledem k možným komplikacím při zajišťování paliva E100 a dostupnosti paliva Natural 95 se autorovi zdá vhodnější použít jako palivo výše zmíněný Natural 95.

Pohon vozidla vznětovým motorem, které je omezeno výše uvedenými specifikacemi, není dle mého názoru vhodným řešením. Pokud porovnáme hmotnost motoru se všemi součástmi nutnými k jeho běhu, vyjde nám, že při stejném požadovaném výkonu, i při stejném zdvihovém objemu, má vznětový motor vyšší hmotnost, než motor zážehový.

Jako nejpříjemnější možnost nám tedy zbývá použití zážehového motoru. Ten musí pracovat na palivo, které dodává pořadatel závodu, tzn. Shell Unleaded 95. Zároveň nesmí spotřebovávat žádný olej. Tímto je v pravidlech nepřímo uveden zákaz použití dvoutaktních motorů.

V požadavcích pořadatele závodu jsou dále uvedeny omezení týkající se pohonu.

V článku 36 je uvedeno:

- Vozidla, která jsou vybavena spalovacím motorem, musí být vybavena spojkou, aby během inspekce a doplňování paliva zůstalo vozidlo stát i při běžícím motoru.
- Otáčky startéru musí vždy být nižší, než jsou spouštěcí otáčky spojky.
- Použití dostatečně pevného krytu řetězu / řemene je povinné.

Toto je požadováno z důvodu ochrany řidiče, či technika, kteří pracují na vozidle, v případě přetržení řetězu/řemene. Kryt musí být vyroben z ocele, nebo z dostatečně pevného kompozitu tak, aby odolal při přetržení řetězu / řemene.

### **2.3. Bezpečnostní požadavky na konstrukci**

V pravidlech, která poskytl pořadatel závodů, je několik požadavků, které jsou zaměřeny na bezpečnost a ochranu zdraví jak řidiče při závodu, tak ostatních účastníků či členů týmu.

Jelikož se jedná o závodní vozidlo, musí být vybaveno ochranným rámem. Ten musí splňovat několik požadavků. Tyto požadavky jsou uvedeny v článku 27.

- Týmy musí zajistit pevnost rámu/ monokoku.
- Rám vozidla musí být vybaven ochranným rámem. Tento ochranný rám musí přesahovat 5 cm řidičovu helmu v případě, kdy řidič je usazen a připoután.
- Ochranný rám musí být širší o 5 cm na každou stranu ve výšce řidičových ramen. Výška řidičových ramen je měřena v okamžiku, kdy je řidič usazen a připoután bezpečnostním pásem.
- Ochranný rám musí vydržet zatížení 700 N ve směru svislém, podélném a příčném. Z toho vyplývá, že musí vydržet zatížení v jakémkoliv směru.
- Rám vozidla nebo monokok musí být dostatečně široký a dlouhý, aby při boční či čelní kolizi zůstalo dostatek místa pro řidiče.



Součástí ochranného rámu je také přepážka, která odděluje řidiče od pohonné jednotky a systémů přívodu paliva. Požadavky na tuto součást se zabývá článek 33.

- Stálá přepážka musí úplně oddělit pohonnou jednotku a systémy pro uchovávání energie od prostoru pro řidiče.

Těmito systémy je myšleno: motory, palivové články, baterie, vodíkové válce, superkapacitory.

Tyto součásti musí být umístěny mimo prostor pro řidiče a tedy za přepážku.

Smysl této přepážky je zabránění průniku paliva, ohně či kouře k řidiči v případě nehody. Z toho důvodu je nutné, aby nevznikly žádné mezery a díry mezi karoserií a přepážkou.

- Přepážka musí být odolná vůči ohni jak díky materiálu, tak díky konstrukci.
- V uzavřených vozidlech musí přepážka oddělit prostor pro řidiče od pohonné jednotky.
- V případě použití v otevřeném vozidle musí být přepážka alespoň o 5 cm vyšší, než je nejvyšší bod pohonného ústrojí, nebo o 5 cm vyšší než je úroveň řidičových ramen. Z těchto dvou hodnot se vždy bere ta vyšší.
- Přepážka musí zabránit přístup k pohonné jednotce během jízdy ze strany řidiče.

## **2.4. Další požadavky na vozidlo**

V pravidlech jsou uvedeny i další požadavky na vozidlo:

Článek 37 se zabývá koly, osami a náboji kol:

- Všechny typy kol jsou povoleny.
- Jakýkoliv typ ráfku kol může být použit. Ráfky však musí být kompatibilní s rozměry pneumatiky, aby byly splněny bezpečnostní standardy.
- Kola umístěná uvnitř vozidla musí být od řidiče oddělena přepážkou.
- Jakákoliv řidičova manipulace s koly je zakázána od chvíle, kdy vozidlo projede startovní čáru do doby, než dosáhne čáry cílové.

Článek 38 se zabývá poloměrem otáčení.

- Poloměr otáčení musí být dostatečný, aby umožnil nejenom bezpečné předjíždění, ale i bezpečný průjezd všemi zatáčkami tratě. Pokud komisaři uvidí, že poloměr otáčení vozidla je nedostatečný, vozidlo bude staženo z tratě z důvodu inspekce.

Článek 39 se zabývá řízením vozidla a jeho ovladatelností.

- Systém nepřímého řízení je povolen, pokud je doplněn vhodnými systémy v případě jeho poruchy.

Článek 40 se zabývá brzdovými systémy vozidla.

- Vozidlo musí být vybaveno dvěma nezávislými systémy. Každý z těchto systémů se musí skládat z jednoho ovládacího prvku (páka, pedál), brzdového převodu (lana, hadice) a brzdiče (destičky)
- Nepřímé a elektronické brzdové systémy nejsou povoleny.
- Jeden ze systémů musí působit na přední kolo (a), druhý systém na kolo (a) zadní. Když budou brzděna dvě kola vpředu nebo vzadu, dva brzdiče musí být použity (jeden na každém kole) a ovládány jedním ovládacím prvkem. Dále musí být brzdy na levém a pravém kole správně vyváženy. Ovládání nohou je doporučeno.
- Musí být možno aktivovat oba brzdové systémy najednou, aniž by při tom byl řidič nucen sundat jakoukoliv ruku z řízení.
- Efektivita brzdových systémů bude testována během inspekce. Vozidlo bude umístěno na svah o sklonu 20%. Systémy budou střídavě zapojovány a každý z nich by měl udržet vozidlo
- Použití hydraulického brzdového systémů je velice vhodné

### 3. Síly působící na vozidlo

Na jedoucí vozidlo působí vedle tíhy vozidla a reakcí ve styku kol další síly vyvolané převážně prostředím, ve kterém se vozidlo pohybuje a které brání pohybu vozidla. Tyto síly se nazývají jízdni odpory. U motorových vozidel jsou jízdni odpory překonávány vozidlovým motorem.

K jízdni odporům patří

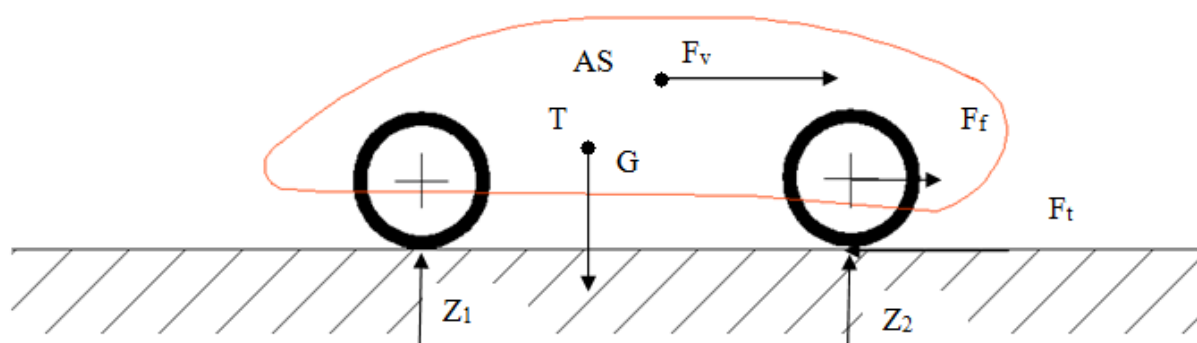
- Odpor valivý
- Odpor vzduchu
- Odpor do stoupání
- Odpor setrvačný
- Odpor přivěsu.

K jízdni odporům počítáme i mechanické ztráty vzniklé v převodovém ústrojí vozidla neboť i ony brání pohybu vozidla brzděním jeho otáčejících se částí. [1]

Jelikož se jedná o experimentální vozidlo, u něhož se nepočítá s tažením přivěsu, můžeme odpor přivěsu při našich dalších výpočtech vynechat.

Protože se vozidlo bude pohybovat po rovině, bude odpor do stoupání roven 0, a tudíž ho můžeme taktéž v následujících výpočtech vynechat.

#### Rozbor sil působících na vozidlo



Obrázek 1 Síly působící na vozidlo při jízdě po rovině

Na vozidlo působí několik sil:

Tíha vozidla  $G = m * g$  působí v těžišti vozidla.

Odpor vzduchu  $F_v = 0,048 * c_x * S_\xi * v^2$  v aerodynamickém středu.

Valivý odpor  $F_f = m * g * f$  ve středu kola.

Reakce od vozovky  $Z_1 = m_1 * g$  ;  $Z_2 = m_2 * g$

Setrvačný odpor  $F_i = m * i * a$

### 3.1. Valivý odpor

Rovnice pro valivý odpor je  $F_f = m * g * f$

V rovnici se vyskytují tři parametry:

hmotnost vozidla $m$
tíhové zrychlení $g$
součinitel valivého odporu $f$

Velikost tíhového zrychlení nemůžeme nijak ovlivnit. Hmotnost vozidla a součinitel valivého odporu však změnit můžeme. Pneumatiky využívané při ekorallye například na automobilech na solární pohon mají součinitel  $f = 0,0055$ . Pokud se však použije speciální pneumatika např. od firmy Michelin, může součinitel  $f$  poklesnout až na 0,0025.

To při stejné hmotnosti vozidla umožní snížení valivého odporu o cca. 54,5 %. Další dílčí změny velikosti mohou být provedeny změnou tlaku huštění pneumatik.

### 3.2. Odpor vzduchu

Rovnice pro odpor vzduchu je  $F_v = 0,048 * c_x * S_\xi * v^2$

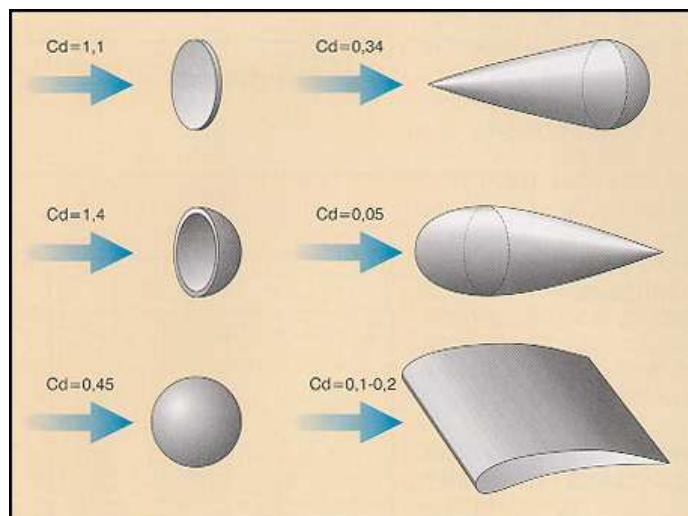
V této rovnici se vyskytují tři parametry:

součinitel odporu vzduchu $c_x$
čelní plocha $S_\xi$
rychlost vozidla $v$

Jelikož se součinitel odporu a čelní plocha ve vzorci vyskytují jen v první mocnině, nemá jejich snížení na celkový odpor takový vliv jako rychlost v případě, že dojde ke snížení o stejné procentuální množství např. o 10%. Jestliže totiž snížíme např. čelní plochu o deset procent tak výsledný odpor vzduchu bude 0,9 násobkem původního odporu. Pokud však snížíme rychlost o 10%, tak výsledný odpor bude 0,9\* 0,9 násobkem původního odporu. To znamená, že to bude jen 81% původního odporu za předpokladu, že čelní plocha a součinitel odporu vzduchu zůstane stejný. Tudíž zmenšení rychlosti o 10% přinese snížení odporu o



19%, zatímco snížení čelní plochy nebo snížení součinitele odporu vzduchu o 10% přinese snížení jen o 10%.



Obrázek 2 Aerodynamické koeficienty jednotlivých tvarů[2]

Z obrázku číslo 2 vyplývá, že optimální tvar z aerodynamického hlediska je tvar padající vodní kapky. Bohužel tohoto tvaru nemůžeme plně dosáhnout, neboť je nutno brát v potaz nutnost narušení tvaru vozidlovými koly a nevhodnost tvaru padající kapky ve spodní části vozidla. Spodní čas vozidla je vhodné vytvořit rovinnou, neboť pak nebude docházet k tak velkým změnám proudění a nebude docházet k turbulencím. Podobný trend je patrný v dnešní době kdy výrobci osobních automobilů při hledání řešení k zajištění nejnižší spotřeby používají rovinné kryty podvozku, aby co nejvíce usnadnili proudění vzduchu pod vozidlem.

### 3.3. Setrvačný odpor

Rovnice pro setrvačný odpor je  $F_i = m * v * a$

V této rovnici se vyskytují tři parametry: hmotnost vozidla  $m$   
součinitel vlivu rotujících částí  $v$   
zrychlení  $a$

Tato část jízdních odporů je v případě jízdního cyklu s rovnoměrnou rychlostí nulová, pokud nepočítáme počáteční rozjezd a brzdění po projetí cíle. Pokud však použijeme jízdní cyklus, kdy budeme využívat setrvačnosti vozidla, nabývá tento odpor již nenulových hodnot, a proto s ním musíme již počítat.

### 3.4. Problematika jízdního cyklu

V pravidlech je uvedeno, že vozidla musí urazit vzdálenost 8 kol po 3,2 km za maximálně 51 minut. To odpovídá průměrné rychlosti 30 km/h. V pravidlech není uvedeno, zdali má jet vozidlo celou dobu rychlostí, která odpovídá požadované rychlosti průměrné, či má využívat setrvačnosti.

V rámci zajištění maximálního využití energie v palivu a tím i nejnižší spotřebuje nutné vybrat typ jízdního cyklu. Máme na výběr ze dvou variant:

- a) Jízdní cyklus s ustálenou rychlostí
- b) Jízdní cyklus se střídající se akcelerací a výběhem

Během pohybu vozidla můžeme sledovat několik parametrů:

- Velikost jízdních odporů
- Velikost hnací síly
- Zrychlení vozidla
- Rychlost pohybu vozidla
- Ujetá dráha od počátku měření

Tyto parametry jsou navzájem mezi sebou provázány. Nejdříve si uvedeme seznam veličin a symbolů, které se v postupu budou vyskytovat

$F_t$	hnací síla
$M_m$	točivý moment
$i_c$	celkový převodový poměr
$r_d$	dynamický poloměr kola
$c_x$	součinitel odporu vzduchu
$s_e$	čelní plocha
$f$	součinitel odporu valení
$g$	tíhové zrychlení
$F_f$	valivý odpor
$F_v$	odpor vzduchu
$v$	rychlost vozidla
$n$	otáčky motoru

Z vnější charakteristiky otáček motoru zjistíme hodnoty točivého momentu a otáček, při kterých jsou tyto hodnoty dosahovány. Poté převedeme točivý moment na hnací sílu a otáčky na rychlost:

$$F_t = \frac{M_m * i_c * \eta}{r_d} \quad (1)$$

$$v = \frac{0,377 * n * r_d}{3,6 * i_c} \quad (2)$$

Známe tedy závislost hnací síly na rychlosti, Nyní si vypočteme velikost odporů.

$$\text{odpor vzduchu:} \quad F_v = 0,048 * c_x * S_c * V^2 \quad (3)$$

$$\text{odpor valení} \quad F_f = m * g * f \quad (4)$$

$$\text{setrvačný odpor} \quad F_i = m * v * a \quad (5)$$

Můžeme použít pohybovou rovnici

$$m * a * v = F_t - m * g * f - 0,048 * c_x * S_c * V^2 \quad (6)$$

Probíhá pohyb nerovnoměrně zrychlený během časového intervalu o délce  $t$ . Pokud však tento interval rozdělíme na velký počet dostatečně malých intervalů o délce  $dt$ , tak dostaneme místo nerovnoměrně zrychleného pohybu o délce  $T$  sled rovnoměrně zrychlených pohybů o délce  $dt$ .

Koncová rychlost předchozího intervalu je zároveň počáteční rychlostí intervalu dalšího.

V čase  $t = 0$  s se vozidlo pohybuje rychlostí  $v = v_0$ . Tomu odpovídá hnací síla  $F_t = F_{t_0}$ . Dále tomu odpovídají hodnoty jízdních odporů  $F_{v_0}$ ,  $F_{f_0}$  a  $F_{i_0}$ . Po dosazení do rovnice (6) dostaneme zrychlení o velikosti  $a_0$ . První interval tedy vozidlo akceleruje se zrychlením  $a_0$ . Na konci intervalu dosáhne rychlosti  $v_1$ .

V čase  $t = t_1 = dt$  se vozidlo pohybuje rychlostí  $v = v_1$ . Tomu odpovídá hnací síla  $F_t = F_{t_1}$ . Dále tomu odpovídají hodnoty jízdních odporů  $F_{v_1}$ ,  $F_{f_1}$  a  $F_{i_1}$ . Po dosazení do rovnice (6) dostaneme hodnotu  $a_1$ . Druhý interval tedy vozidlo akceleruje se zrychlením  $a_1$  a na konci intervalu dosáhne rychlosti  $v_2$ .

Tento postup opakujeme, dokud nedosáhneme času  $t = T$ .

Během těchto intervalů vozidlo urazí dráhu  $\Delta s_{(x)}$ , kde  $x$  je číslo intervalu. Tato dráha má velikost  $\Delta s_{(x)} = \frac{1}{2} * a_{(x)} * dt^2$ . Pokud sečteme všechny dráhy tak dostaneme celkovou

ujetou vzdálenost za čas  $t = T$ . Zároveň platí, že během pohybu na dráze  $\Delta s_{(x)}$  působí síla  $F_{t(x)}$ . Tak můžeme vytvořit závislost síly na dráze. Jestliže použijeme na tuto závislost určitý integrál tak platí, že jeho výsledek se rovná práci vykonané během pohybu. V grafu je tato práce znázorněna plochou pod křivkou.

Podobný postup platí i pro deceleraci. Při té ale nepočítáme s hnací silou motoru. Na vozidlo tedy působí jen síly  $F_v$ ,  $F_f$  a  $F_i$ . Vozidlo je zpomalováno negativním zrychlením o velikosti:

$$m * a * v = -m * g * f - 0,048 * c_x * S_c * V^2 \quad (7)$$

Důležité je taktéž stanovení počáteční rychlosti akcelerace a rychlosti maximální, při které akcelerace končí a začíná decelerace. Po stanovení těchto hodnot můžeme vypočítat dobu akcelerace. Důležitým parametrem je taktéž průměrná rychlost. To je z počátku jediná proměnná

Při zjišťování maximální a minimální rychlosti (počátek decelerace a konec decelerace) si musíme jednu z nich zvolit a druhou dopočítat. Výhodnější je si zvolit rychlost maximální a postupovat od ní na každou stranu s tím, že průměrná rychlost musí dosáhnout přibližně hodnoty, která je daná pořadatelem. Nejlépe hodnoty vyšší než je tato, neboť v případě kdyby byla hodnota nižší, nebylo by možné dojet do cíle včas. Hodnota však nesmí být o mnoho vyšší, neboť by pak byla příliš vysoká spotřeba a energie obsažená v palivu by se využívala neekonomicky což je přesný opak toho co je cílem.

Můžeme si předchozí uvést na příkladě:

Máme vozidlo o těchto parametrech:

m	Ic	S <sub>c</sub>	c <sub>x</sub>	r <sub>d</sub>	v	η	F
150 kg	5	1 m <sup>2</sup>	0,2	0,1m	1,03	0,99	0,015

Dále je vozidlo vybaveno pohonnou jednotkou s tímto průběhem točivého momentu:

n[1000min <sup>-1</sup> ]	3300	3500	4000	4500	5100	5500	6000	6300	6500
Mm[Nm]	2,5	4,0	4,6	4,4	4,7	4,5	4,3	3,8	3,7

Pokud dosadíme tyto údaje do rovnic číslo (1) a (2) dostaneme průběh trakční síly v závislosti na rychlosti.



V[m*s <sup>-1</sup> ]	6,911667	7,330556	8,377778	9,425	10,68167	11,51944	12,56667	13,195	13,61389
Ft[N]	123,75	198	227,7	217,8	232,65	222,75	212,85	188,1	183,15

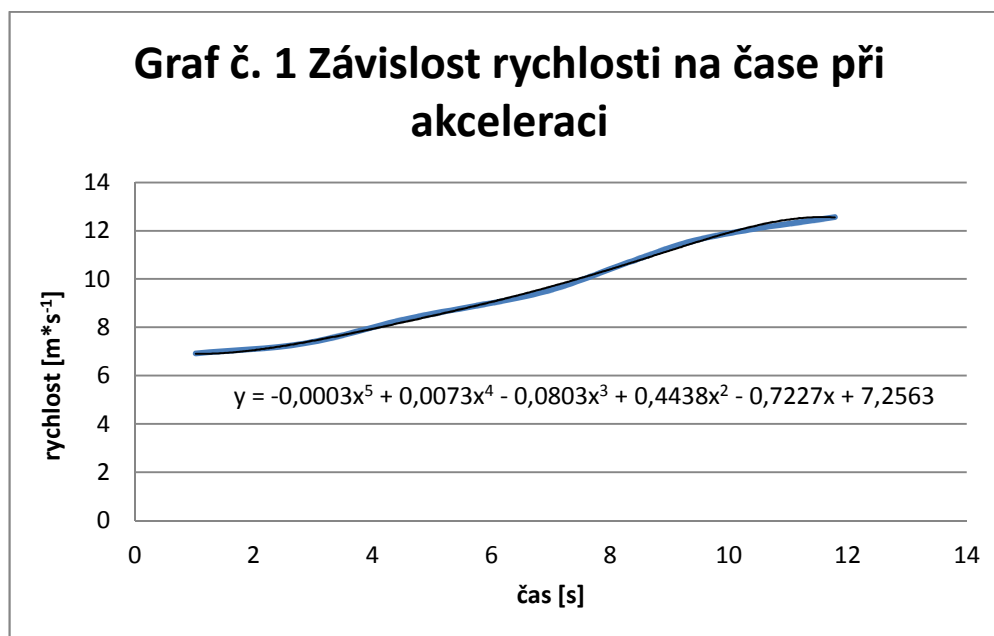
Z tohoto můžeme usoudit, že vhodná rychlost, ze které můžeme začít decelerovat je  $v_{max} = 12,5 \text{ m*s}^{-1}$ .

Tuto rychlost si stanovíme jako počáteční rychlost decelerace a postupujeme dle rovnic (6), (7), (8), (9), (10) a (11). S vzrůstající ujetou vzdáleností stále sledujeme průměrnou rychlost dle vzorce:

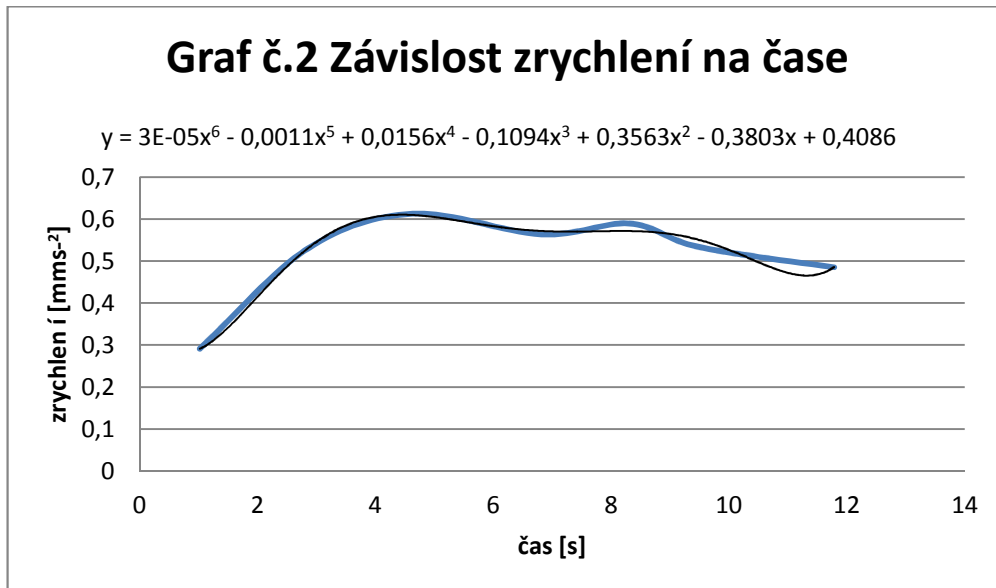
$$v_p = \frac{s_{celk}}{t_{celk}} \quad (12)$$

Postup pro deceleraci opakujeme dokud  $v_p$  není rovno  $10 \text{ m*s}^{-1}$ . Dosaženou rychlost si zaznamenáme. V našem případě  $v_{min} = 7,9 \text{ m*s}^{-1}$ .

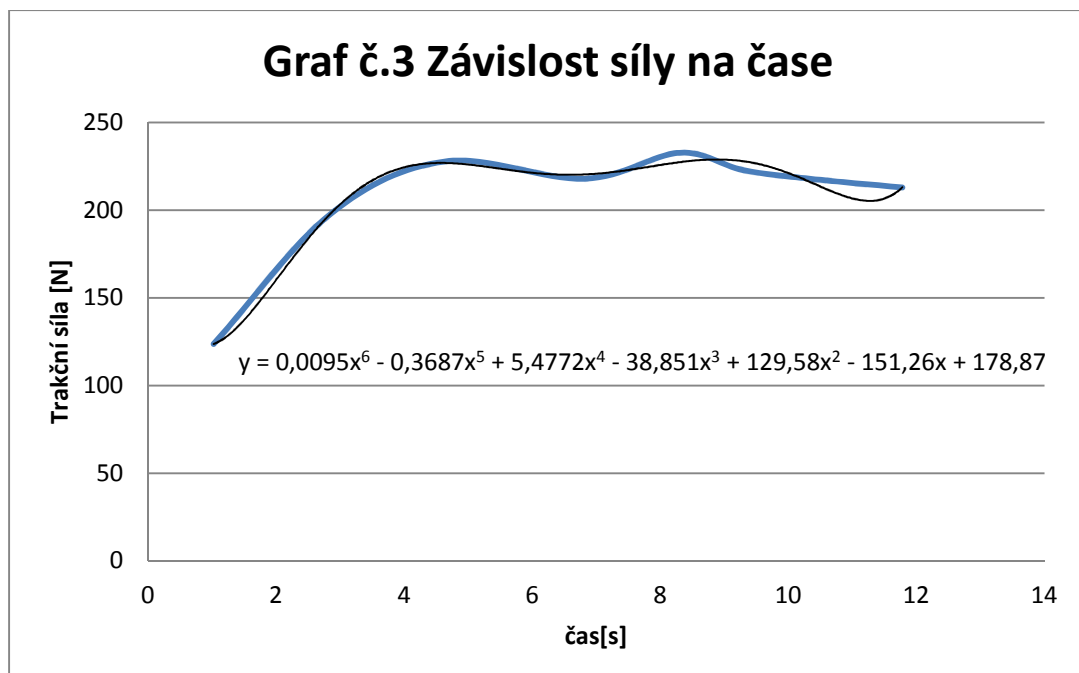
V případě akcelerace budeme brát v prvním případě motor akcelerující z počátečních otáček  $3300 \text{ min}^{-1}$  do otáček  $6500$ . Jelikož známe zrychlení a rychlosti odpovídající jednotlivým otáčkám, můžeme zjistit, jak dlouho bude tato akcelerace trvat. Takto získáme průběh rychlosti v závislosti na čase. Ten můžeme proložit polynomickou funkcí, abychom získali funkční závislost mezi časovými hodnotami a hodnotami rychlosti. Ta je v grafu znázorněna černou barvou, zatímco původní závislost je znázorněna barvou modrou.



Jelikož také známe zrychlení odpovídající určitým rychlostem a známe závislost mezi těmito rychlostmi a časem, můžeme vykreslit průběh závislosti zrychlení na čase a ten opět proložit polynomicickou funkcí. Rozložení barev je identické jako v případě grafu č.1.



Každým otáčkám odpovídá určitá velikost trakční síly. To znamená, že každé rychlosti odpovídá určitá velikost Ft. Jelikož známe závislost rychlosti na čase, můžeme vykreslit průběh závislosti trakční síly na čase a ten opět proložit polynomicickou funkcí. Rozložení barev je identické, jako v předcházejících případech.



Když známe polynomické vyjádření závislosti zrychlení na čase a rychlosti na čase, můžeme spočítat i přesně ujetou vzdálenost pro jakýkoliv okamžik.

Nyní již můžeme vyjádřit závislost síly na dráze a vypočítat či porovnávat velikost vykonané práce.

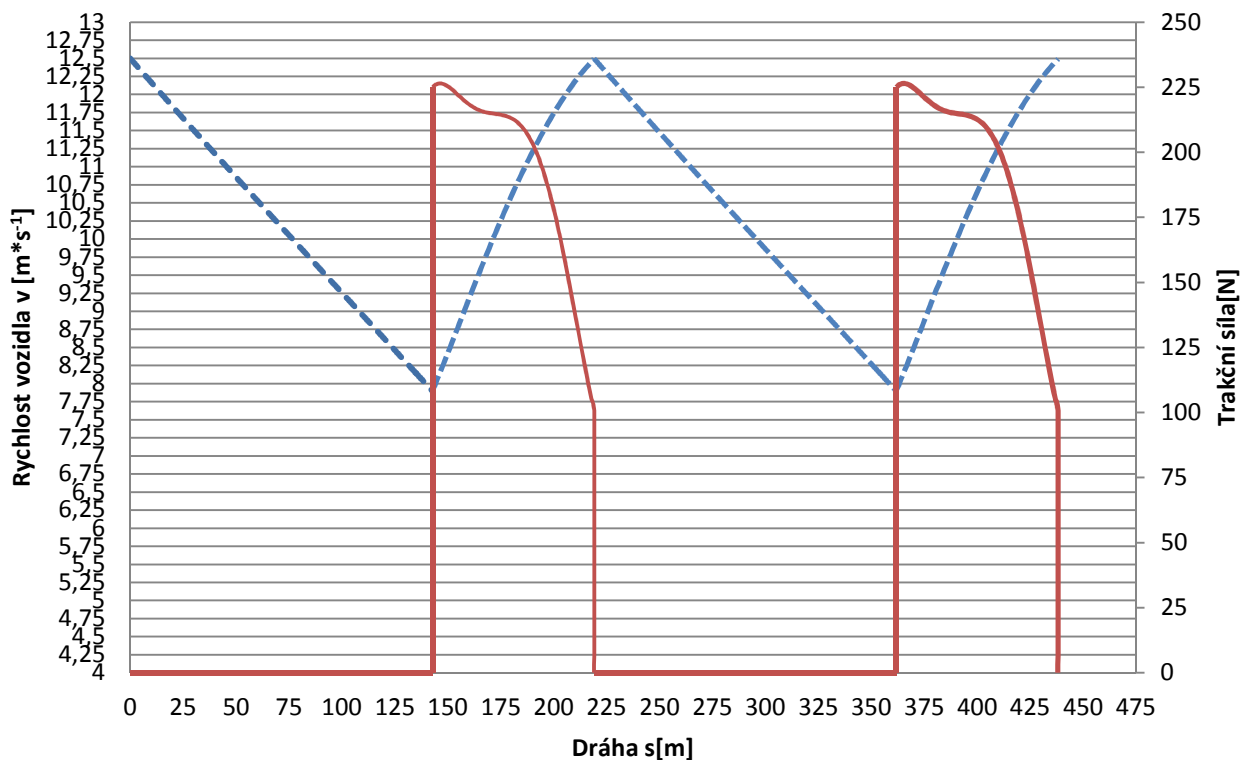
Vozidlo při deceleraci z počáteční rychlosti  $v_{\max} = 12,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  dosáhne rychlosti  $v_{\min} = 7,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  po ujetí vzdálenosti  $s_1 = 142,8 \text{ m}$ .

Poté dochází k akceleraci z  $v_{\min}$  zpět na  $v_{\max}$ , během které vozidlo ujede  $s_2 = 76,25 \text{ m}$ .

Celková vzdálenost ujetá při jednom cyklu je rovna  $s = s_1 + s_2 = 142,8 + 76,25 = 219,05 \text{ m}$ .

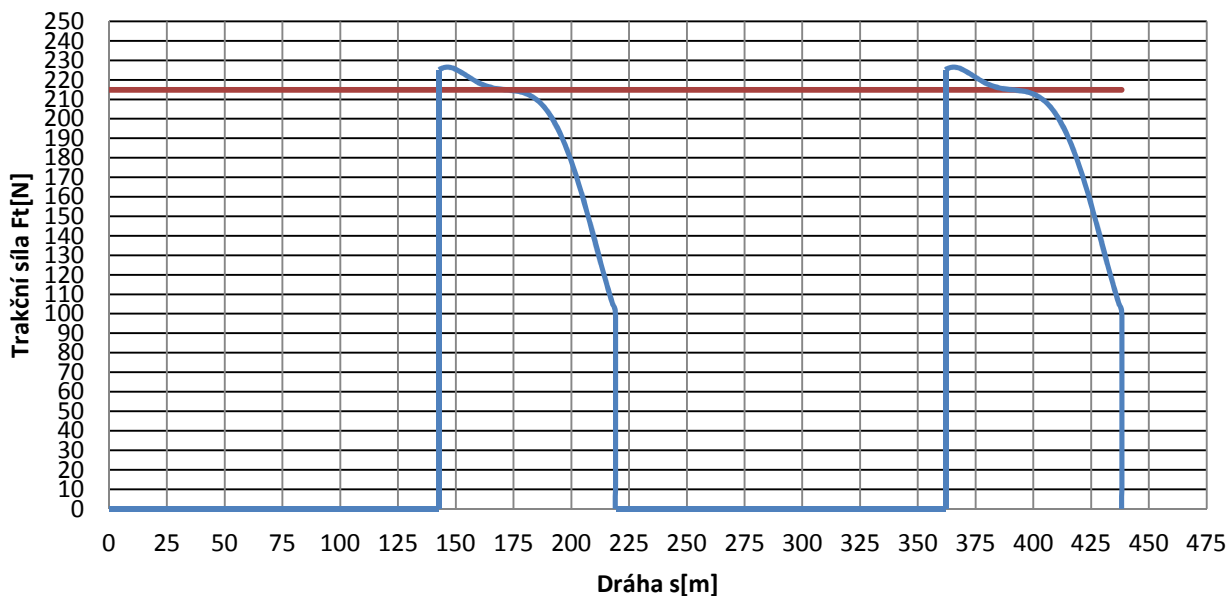
Červeně je v grafu znázorněn průběh trakční síly a modře průběh rychlosti v závislosti na ujeté dráze.

**Graf č. 4 Jízdní cyklus**



V dalším grafu je ukázáno porovnání rovnoměrného pohybu a pohybu, ve kterém se střídá akcelerace s decelerací a motor je v činnosti jen v intervalu kdy vozidlo akceleruje.

### Graf č.5 Průběh trakční síly v závislosti na ujeté dráze



Jak je vidět z grafu č.5, pro případ vozidla s těmito parametry je střídavý jízdní cyklus méně energeticky náročný než jízda rovnoměrnou rychlostí. Plocha pod modrou křivkou (střídavý cyklus) je totiž menší, nežli plocha pod červenou křivkou (pohyb rovnoměrný)

Tento případ počítá s tím, že v motoru není spalován žádný benzín během decelerace a tudíž motor samotný funguje jako kompresor a brzdí pohyb vozidla. Existuje možnost umístění volnoběžky do převodového ústrojí a umožnění tak působení motoru v ideálních otáčkách (s ohledem na spotřebu) během decelerace. V tom případě by se vodorovné čáry v grafu v intervalu decelerace nenacházeli na ose x ale rovnoběžně s ní procházející hodnotou na ose odpovídající hypotetické trakční síle, kterou by motor při daných ideálních otáčkách a při odpovídající dávce paliva bylo schopno poskytovat. V tomto případě se sice plocha pod grafem zvětší, ale nebude to nikdy natolik, aby to nepřesáhlo velikost plochy pod grafem rovnoměrného pohybu.

Je tedy vhodnější pohyb cyklický, kdy se střídá fáze akcelerace a fáze decelerace.

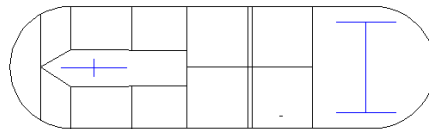
## 4. Koncepce vozidla

Aby byla hmotnost co nejnižší, měly by být všechny systémy a základní celky na vozidle co nejefektivnější a pokud možno co nejjednodušší. Zároveň by se ale nemělo zapomínat na problém bezpečnosti a především spolehlivosti. Spolehlivost zde uvádím z toho důvodu, protože si myslím, že je zbytečné vyvíjet úplně nové komponenty, které by byly co nejlehčí, když je možnost použít mírně modifikované součásti, jejichž spolehlivost byla již prověřena provozem.

Valivý odpor kola závisí na jeho zatížení. Když však zvyšujeme zatížení, musíme zvyšovat i huštění pneumatik. S rostoucím tlakem v pneumatikách klesá součinitel valivého odporu. Celkové zatížení na všechny kola zůstává pro případ použití 3, nebo 4 kol stejné. V případě použití 3 kol je však zatížení jednoho kola vyšší. Tudíž se musí pneumatiky nahustit vyšším tlakem a tak poklesne součinitel valivého odporu. Proto volím koncepci používající 3 kola.

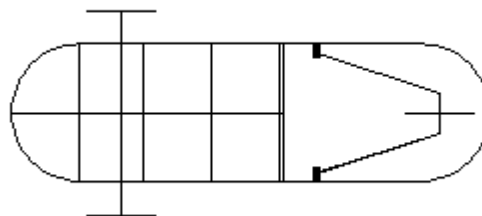
Existují dvě možnosti, jak využít koncepcí se třemi koly

- a) Zadní náprava tvořena dvěma koly a přední jen jedním



Obrázek 3 Koncepcie a)

- b) Přední náprava tvořena dvěma koly a zadní jen jedním



Obrázek 4 Koncepcie b)

Koncepcie, která má jedno kolo vepředu a dvě vzadu, má několik nevýhod. Zaprvé je omezena stabilita tím, že se může vozidlo při velkém náklonu nebo přesunu zatížení

převrhnout. Dále by se musela vložit součást plnicí úlohu diferenciálu. Tak by narostla hmotnost a docházelo by k dalšímu maření energie v převodovém ústrojí.

Koncepce vybavená dvěma koly vepředu a jedním kolem vzadu, je daleko stabilnější. Dále má výhodu v tom, že prostor pro osádku není zmenšen prostorem, který zabírá přední kolo u koncepce a). Tím může být prostor pro posádku daleko menší a sníží se tím i délka vozidla. Další nevýhoda koncepce a) je v tom, že narůstá složitost rámu tím, že ne nutno obestavět prostor, ve kterém se nachází přední kolo. Nosný prvek u koncepce b) je tvořen jednoduchou podlahou a může tak být daleko pevnější.

Další text se zabývá koncepcí b), neboli přední náprava tvořena dvěma koly a zadní jen jedním.

Přední náprava je řídicí, tuhá a neodpružená. Zadní kolo má funkci hnací a při použití spalovacího motoru by mělo být umístěno na odpružené výkyvné vidlici. Je to z důvodu nerovnoměrnosti chodu spalovacího motoru. Použití pohonu a řízení na jedné nápravě je nevýhodné. Uložení kola by se totiž muselo dimenzovat nejenom na síly a momenty vznikající od natočení kol, ale i na síly a momenty způsobené přivedením točivého momentu. Tím by neúměrně narostla složitost a hmotnost konstrukce. Navíc by se musel spalovací motor umístit co nejbližší k nápravě, která je hnací a zároveň řídicí, aby se délka hnacích hřídelů snížila na minimum. Jelikož se ale používá přední náprava jako řídicí, tak by umístění motoru k přední nápravě přineslo komplikace. Nejenom, že je nutné prostor pro řidiče a pohonnou jednotku oddělit přepážkou a tak by se zmenšil prostor pro posádku. Také by ale pravděpodobně vznikly komplikace se zajištěním potřebného výhledu pro řidiče. Tudíž by se musela zvýšit výška podlahy v místě sedačky, a tím by narostla i výška vozidla. Tak by se zvětšila i čelní plocha a s tím i odpor vzduchu. Logickým řešením je tedy pohon zadní nápravy (kola) a řízení přední nápravy.

Rozložení umístění pohonného ústrojí a řidiče je velice důležité. Jelikož je poháněna zadní náprava, je důležité v rámci udržení jednoduchosti celého systému a zároveň jeho nízké hmotnosti, aby se nacházelo pohonné ústrojí v zadní části vozidla.

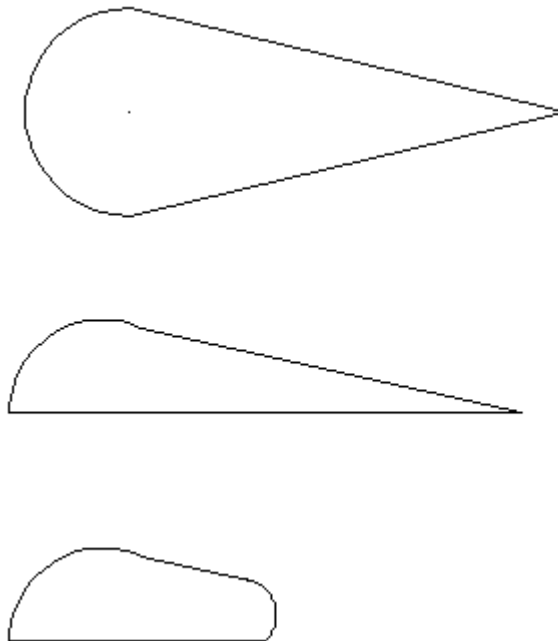
Prostor pro řidiče tedy vychází na prostřední a přední část vozidla. Z důvodu bezpečnosti je v pravidlech pořadatele výslovný zákaz řízení v pozici hlavou napřed. Proto musí být řidič usazen podobným způsobem, jaký se využívá v dnešní době běžně u silničních vozidel.

#### 4.1. Aerodynamická stránka návrhu.

Abychom co nejvíce snížili aerodynamický odpor, musíme snížit čelní plochu a vybrat optimální tvar karoserie z hlediska součinitele odporu vzduchu.

Jakékoliv aerodynamické součásti kapotáže, které mohou měnit tvar působením proudu vzduchu anebo pomocí pokynů řidiče, jsou zakázány.

Na obrázku č. 3 jsou uvedeny součinitele odporu vzduchu pro některé tvary. Z obrázku vyplývá, že nejefektivnějším tvarem je tvar padající kapky. Tento tvar však nemůžeme naplno převzít. Můžeme ho pouze napodobit. Důvod je ten, že nemůžeme ukončit zadní část vozidla kuželem. Ten by totiž díky svému ostrému zakončení nesplňoval požadavky pořadatele ohledně bezpečnosti. Problémem také je, že v zadní části, kde se tvar kapky zužuje, máme umístěno poháněné kolo. Kdybychom tento tvar použili na zadní převis, byla by celková délka neúměrně velká a navíc by se tak zvětšila hmotnost. Výsledné zlepšení aerodynamických vlastností, nevyvážilo nárůst hmotnosti.



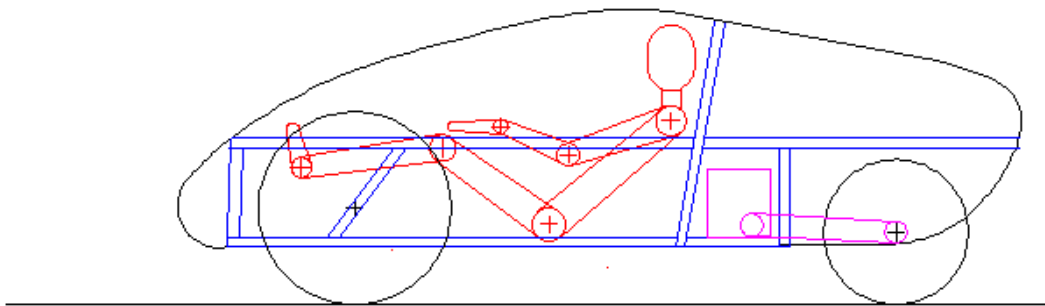
Obrázek 5 Skica postupného vývoje tvaru od ideálního k reálnému

Na obrázku je vidět postupný vývoj bočního profilu od ideálního profilu kapky (úplně nahoře). Jelikož je potřeba usnadnit proudění nejenom nad vozidlem ale i pod vozidlem, nabízí se použití rovné podlahy (střední pozice). Dalším krokem v pořadí je odstranění příliš nízké a



dlouhé zádě. V roce 1937 Německý konstruktér Kamm přišel s tvarem, kterému se říká Kammův tvar. Zjistil totiž to, že odpor vzduchu se nezvyšuje pokud se proud vzduchu odtrhává od povrchu vozidla, tudíž není zapotřebí dlouhé zádě jako měla například Tatra 77. Mnoho současných vozidel využívá tohoto poznatku např. Toyota Prius, Audi A2, Honda CR-Z aj.

Na základě předešlé úvahy se nabízí základní řešení koncepce vozidla vzhledem k aerodynamickým požadavkům a s přihlédnutím k rozmístění hnacího ústrojí a prostoru pro posádku. Základní schéma této koncepce je uvedeno na obrázku č. 6.



Obrázek 6 Skica základního schématu koncepce

Na obrázku je zobrazená skica koncepce s barevně rozlišeným nosným prvkem, pohonem a posádkou.

Z hlediska aerodynamické koncepce je nutné vyřešit umístění předních kol.

Nabízí se dvě řešení:

- a) vně trupu
- b) uvnitř karoserie

Pokud bychom umístili kola přední nápravy uvnitř trupu, vzrostla by velice velikost čelní plochy. Navíc by mohlo docházet k problémům se stabilitou z důvodu malého rozchodu. Umístíme-li vhodně navržená kola vně vozidla, aerodynamický odpor se o mnoho nezvýší. Vhodným návrhem je myšleno použití aerodynamicky čistých kol viz obrázek 7. Použití standardních cyklistických kol by bylo nevýhodné z důvodu zvyšování odporu vzduchu. Toto zvýšení je způsobeno průchodem proudů vzduchu přes drátěný výplet kola. Dále je možné

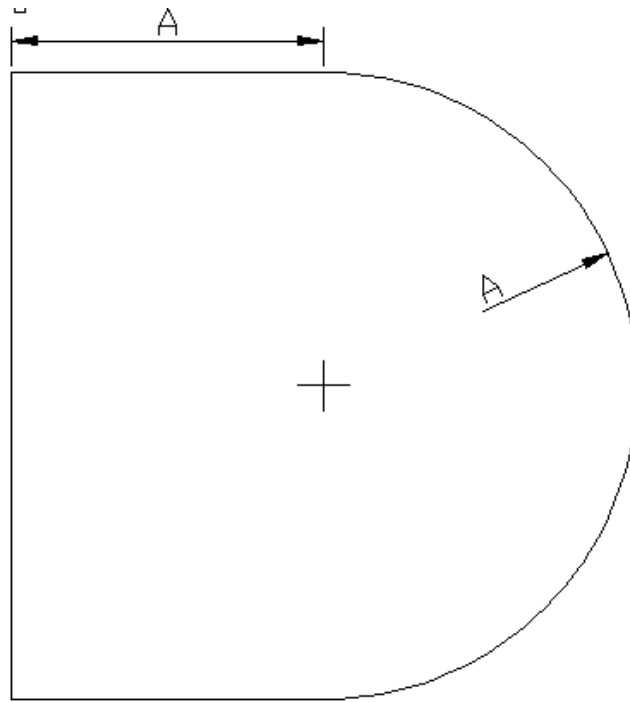
použít blatníky a tak kola zakrýt. Tím nebude docházet k tak velkému víření vzduchu na povrchu kol, především na běhounu, z důvodu jejich rotace.



Obrázek 7 Karbonový aerodynamicky tvarovaný disk [3]

Jednou z částí, která může ovlivňovat aerodynamickou čistotu vozidla je kromě kol i jejich uložení. I v případě, pokud by se přední kola umístila co nejbližší karoserii vozidla, pořád by se mezi karoserií a koly nacházela určitá mezera, kterou by uložení kola a táhla řízení musela překlenout. Proto navrhuji umístit před tuto mezeru ve stejné výšce aerodynamickou část s neměnným tvarem, která by způsobovala rozdělení proudu vzduchu nad a pod úroveň uložení kola.

K aerodynamické stránce neodmyslitelně patří i zpětná zrcátka. Jejich požadovaná minimální plocha je  $25 \text{ cm}^2$ . Té se může dosáhnout při použití čtverce  $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ . Ten však není z hlediska estetiky, aerodynamiky a bezpečnosti nejvýhodnější. Proto je lepší použít např. tvar uvedený na obrázku č.8



**Obrázek 8 Tvar zpětného zrcátka**

Jelikož je uveden požadavek na minimální obsah plochy zpětného zrcátka a jelikož již máme vybraný tvar, můžeme spočítat základní rozměry tohoto tvaru.

Plocha tvaru z obrázku 8 se vyjádří rovnicí:

$$S = A * 2A + \frac{\pi * A^2}{2}$$

Dosažením požadované plochy zrcátka dostaneme rovnici:

$$A * 2A + \pi * \frac{A^2}{2} = 25$$

Z této rovnice můžeme vyjádřit velikost rozměru A:

$$A = \sqrt{\frac{25}{2 + \frac{\pi}{2}}}$$

Aby bylo dosaženo podmínky, která je uvedena v předchozí rovnici, musí být A minimálně 26,5 mm. Ten to tvar má několik výhod. Zaprvé umožňuje velice snadnou montáž na rovnou boční stěnu karoserie vozidla. Zároveň neobsahuje žádné ostré hrany. Je velice jednoduchý na výrobu, neboť se skládá z půlkruhu a obdélníku.

Důležitým parametrem zpětných zrcátek je jejich umístění. Máme na výběr ze dvou variant

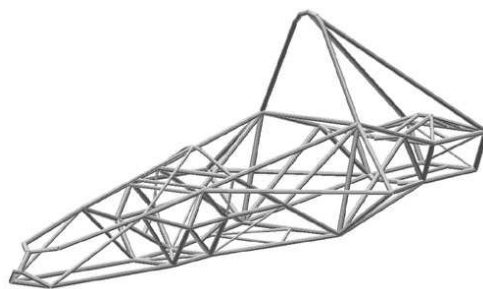
- a) Umístění na boku trupu.
- b) Umístění na blatnících kol

Možnost a) je vcelku standardním postupem. Pokud však umístíme kola přední nápravy vně trupu a použijeme na ně aerodynamické kryty, můžeme umístit zpětná zrcátka na vrchol těchto krytů. Natáčení kol bude v rámci jednotek stupňů a tak by neměl být výhled z vozu příliš ovlivněn. Umístění aerodynamických krytů na kola má jeden jediný důvod. Tím je zamezení víření vzduchu, který přijde do styku s rotující pneumatikou na jejím obvodě.

## 4.2. Nosný prvek

Existuje několik možností, jak koncipovat nosný rám vozidla.

- a) Žebřinový rám, kde příčnky mají kruhový průřez. Tato možnost ale vyžaduje vyšší pevnost vlastní karoserie z toho důvodu, že vlastní tuhost rámu by nestačila a docházelo by k prohýbání. Navíc by se musela celá karoserie postavit na rám, zatímco u ostatních možností již odpovídá tvar nosného prvku tvaru karoserie.
- b) Prostorový rám, kde všechny nosníky mají kruhový průřez. U této možnosti je výhoda toho, že už při tvorbě rámu můžeme vozidlu vtisknout požadovaný tvar a na samotnou kapotáž použít levnější a méně pevný materiál. Nosnou funkci totiž plní samostatný rám a ne panely, které jsou připevněny k nosnému rámu a tvoří karoserii vozidla. Dále má výhodu jednodušší a levnější výroby a poskytuje větší možnosti v případě opravy.



Obrázek 9 Příklad prostorového trubkového rámu [4]

- c) Monokok, vytvořený z karbonových vláken. Tato možnost je velice náročná na výrobu. Poskytuje nám však vyšší pevnost a zároveň odpadá nutnost kapotáže spodní strany vozidla. Nevýhodou je, že pokud dojde k jejímu poškození, tak je nutná její výměna, která se vlastně rovná výměně celého vozidla. Největší nevýhodou je to, že po výrobě již neposkytuje takové možnosti změny. Během výroby se vytvoří úchyty

určitých součástí v určitých místech. Během provozu se ale může zjistit, že na tuto součást působí negativně vlivy prostředí např. vibrace, nedostatečné proudění vzduchu atd. Tudíž je nutné přemístit tuto součást na jiné místo. Na tomto místě však již nemusí být úchyty a celý monokok je tudíž nevhodný a nepoužitelný pro další vývoj, neboť neumožňuje provoz s přemístěnou součástí.



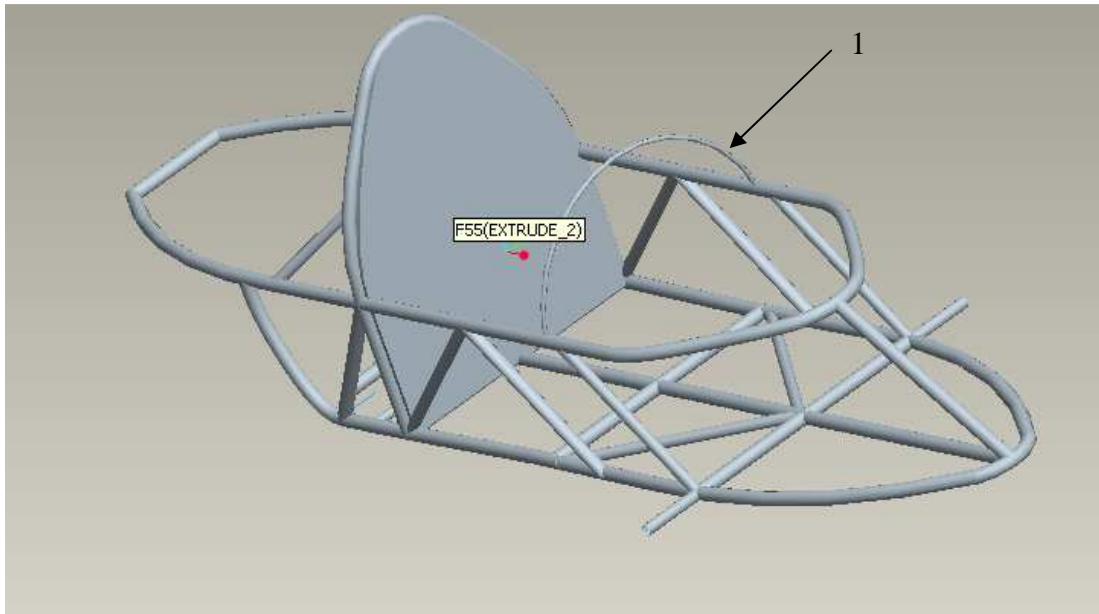
**Obrázek 10 Příklad monokoku [5]**

Z výše uvedeného je patrné, že pro použití v případě prvního prototypu je daleko vhodnější prostorový rám, než monokok. To je z důvodu nižší náročnosti a obzvláště možnosti přesunovat součásti v provozu, bez nutnosti vytvářet úplně nový nosný prvek. Pokud se bude vytvářet vozidlo verze č. 2 (další krok ve vývoji) a bude známo optimální rozmístění jednotlivých součástí tak bude vhodnější již použít monokok. Jelikož se ale jedná o první verzi a během testování a provozu může dojít k velkým změnám v uspořádání systémů, volím prostorový rám.

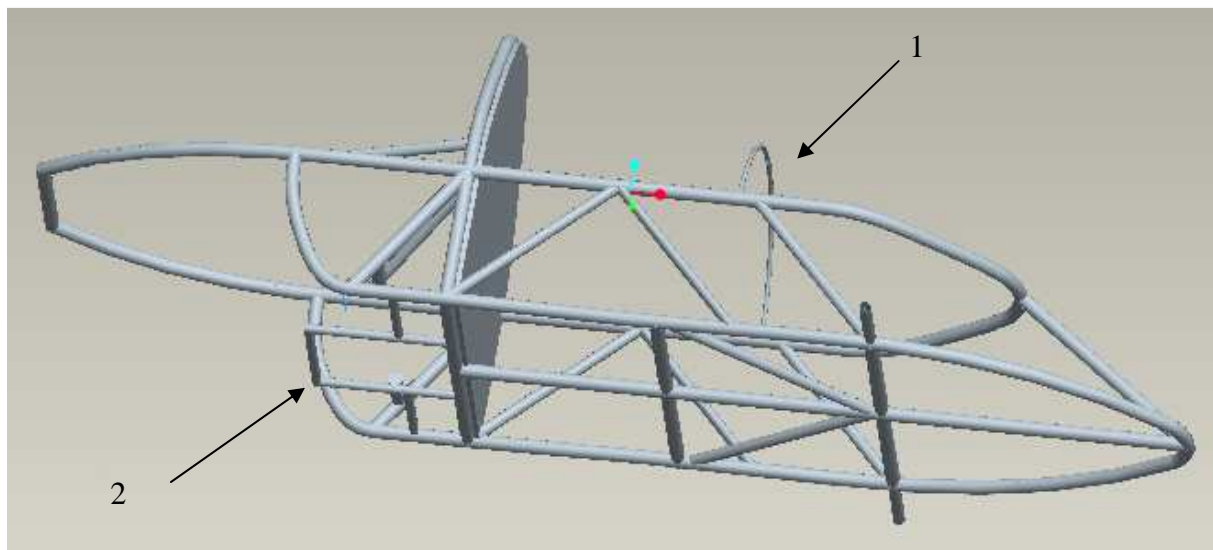
Důležitým prvkem je také volba povrchového povlaku. Máme na výběr z několika materiálů např. PVC, PE, ABS. Dále můžeme využít i tenkých plechů z hliníku anebo legované oceli.

Zajímavým řešením může být použití průhledných plastů k pokrytí přední částí vozidla. Tato verze může velice zlepšit výhled z vozidla. Výhodou je také možnost neustálé subjektivní vizuální diagnostiky součástí.

Z výše uvedeného vyplývá, že nejvhodnějším řešením je použití prostorového rámu, z důvodu jeho jednoduchosti, nenáročnosti a variability. Na obrázcích je uveden příklad rámu pro zvolenou koncepci.



Obrázek 11 Návrh rámu pohled č.1



Obrázek 12 Návrh rámu pohled č. 2

Na obrázcích 11 a 12 je vidět předběžný návrh rámu. V zadní části lze vidět prostor pro umístění motoru a jeho případné položení a připevnění k pomocné konstrukci, která je pod pozicí číslo 2. Tento rám je vhodný spíše pro potažení plasty, než kovovými plechy. Pod pozicí 1 je znázorněn kovový oblouk. Je součástí systému zavírání a otvírání víka.

### 4.3. Brzdová soustava

V kapitole 2.4 jsou uvedeny požadavky pořadatele závodu na brzdový systém. V pravidlech pořadatele závodu je uvedeno, že brzdová soustava musí udržet stojící vozidlo na svahu o sklonu 20%. Nepřímé a elektricky ovládané brzdy nejsou povoleny. Vozidlo musí mít dva nezávislé brzdové okruhy s tím, že jeden ovládá brzdy na přední a druhý na zadní nápravě. Ovládání obou systémů najednou jedním ovladačem je povoleno. Pokud se použije druhý ovladač, musí být zkonstruován tak, aby řidič mohl mít stále jednu ruku na volantu při jeho používání. Poslední dobou se u cyklistických kol vyskytují systémy využívající kotoučových brzd hydraulicky ovládaných, viz obr. 13. Tento systém má již ověřenou spolehlivost a i nízkou hmotnost. Proto si myslím, že by se dal s malými obměnami použít i v tomto případě. Hlavní brzdový válec je nejlepší umístit do přední části vozidla. Tak, aby lanovody či táhla měly přiměřenou velikost a nezvyšovaly příliš hmotnost.

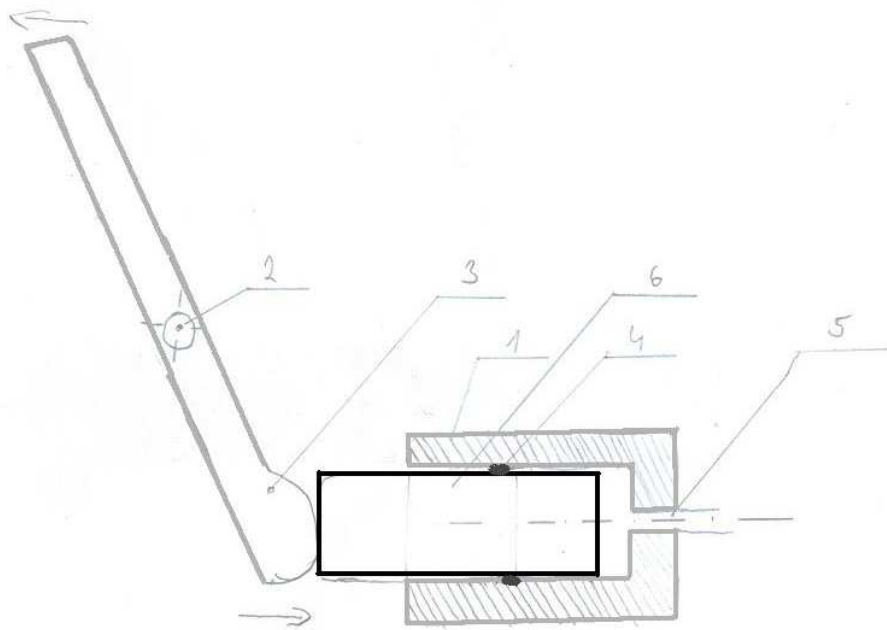


Obrázek 13 Příklad kotoučové brzdy pro použití na jízdních kolech [6]

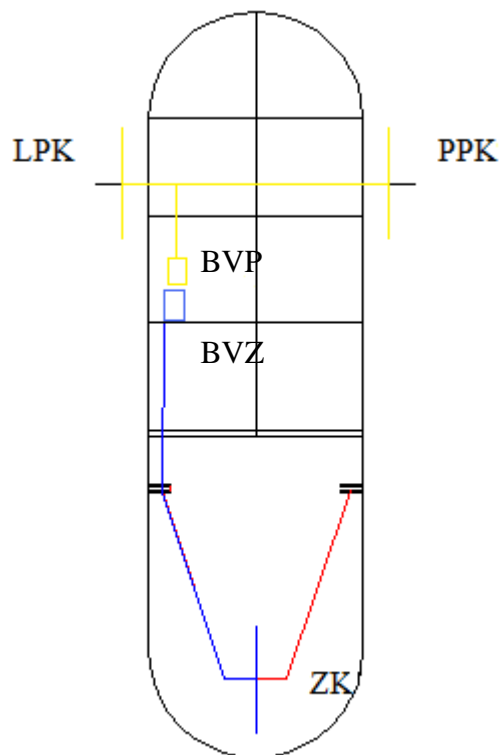
Na obrázku 14 je zobrazena skica funkce ovládacího prvku brzdového systému. Zatažením za táhlo, které je otočně uloženo v rámu vozidla (2), palec (3) zatlačí na píst (6), který je umístěn v brzdovém válci (1) a utěsněn těsněním (4). Vývodem (5) začne proudit brzdová kapalina k brzděčům. Na dalším obrázku je znázorněna skica rozložení brzdového systému ve vozidle.

Nabízí se i použití nezávislého dvouokruhového systému, kdy každý okruh má svůj válec, anebo je zadní okruh ovládan přes lanovody, tedy mechanickou cestou.





Obrázek 14 Skica ovládacího prvku brzdového systému



Obrázek 15 Skica rozvržení brzdového systému

LPK=Levý přední kotouč; PPK = Pravý přední kotouč; ZK = Zadní kotouč; BVP=Brzdový válec pro okruh ovládající přední brzdy; BVZ = Brzdový válec pro okruh ovládající zadní brzdu

Nejvhodnějším řešením je použití brzdového systému s hydraulickým převodem. Použijeme systém využívající dva nezávislé okruhy. Každý z těchto okruhů je ovládán svým vlastním ovládacím prvkem. Jako ovládací prvek použijeme součást naskicovanou na obrázku 14. Tu umístíme tak, aby byla v dosahu řidiče.

#### 4.4. Pohonné ústrojí

Z možností uvedených v kapitole 2. 2. se jeví jako nejpoužitelnější pohon zážehovým spalovacím motorem, jenž je poháněn standardním 95 oktanovým palivem. Použití paliv, jako je etanol v zážehovém motoru, je v našich podmínkách nepraktické z důvodu jeho nedostupnosti. Nejenže palivo musí být dodáváno v rámci pobytu na závodním okruhu, ale mělo by být k dispozici i při fázi ladění motoru. Jeho absence nebo nedostatečné množství by mohlo způsobit nedokonalé naladění motoru a následně i zvýšenou spotřebu a nedostatečný výkon agregátu.

Společnost Jawa nabízí mnoho různých pohonných jednotek. K pohonu vozidla o váze 150 kg, které má vhodný aerodynamický tvar, nebude zapotřebí výkonných motorů viz: 660 cm<sup>3</sup>, 350 cm<sup>3</sup> i 250 cm<sup>3</sup>. Vzhledem k tomu, že se vozidlo bude pohybovat maximální rychlostí do cca 40 km\*h<sup>-1</sup> můžeme spočítat podle vzorce:

$$P_m * \eta_m = \frac{V}{3600} * \Sigma F_{(j)}$$

kde  $P_m$  je požadovaný výkon motoru,  $\eta_m$  je účinnost pohonného ústrojí,  $V$  je požadovaná rychlost v kilometrech za hodinu a  $\Sigma F_{(j)}$  je součet jízdních odporů.

$$Z \text{ toho vyplývá, že } P_m = \frac{V}{3600 * \eta_m} * \Sigma F_{(j)}$$

Součet všech jízdních odporů při rychlosti 40 km\*h<sup>-1</sup> se rovná:

$$\Sigma F_{(j)} = m * g * f + 0,048 * S_c * c_x * V^2$$

$$\Sigma F_{(j)} = 150 * 9,81 * 0,015 + 0,048 * 1 * 0,2 * 40^2 = 37,4325 \text{ N}$$

$$P_m = \frac{40}{3600 * 0,98} * 37,4325 = 0,4244 \text{ kW}$$

Použití motoru o objemu 125 cm<sup>3</sup> je dle autora nevhodné. Pokud totiž porovnáme motory 50cm<sup>3</sup> a 125 cm<sup>3</sup> tak motor 125 cm<sup>3</sup> dosahuje maximálního výkonu 9,4 kW což je cca 22 násobek potřebného výkonu, zatímco motor o objemu 50 cm<sup>3</sup> dosahuje výkonu 2,2 kW, což je jen cca 5 násobek potřebného výkonu. Z toho vyplývá, že menší motor ze dvou výše uvedených bude vhodnější pro použití v tomto vozidle.

Kromě objemu motoru mají vliv na spotřebu i další parametry pohonné jednotky. Jednou z nich je kompresní poměr. Zvýšením kompresního poměru dosáhneme zvýšení účinnosti spalovacího cyklu. Velice důležitý je také tvar spalovacího prostoru. Vhodným tvarem tohoto prostoru můžeme dosáhnout optimálního spalování směsi a tím i snížení spotřeby paliva.

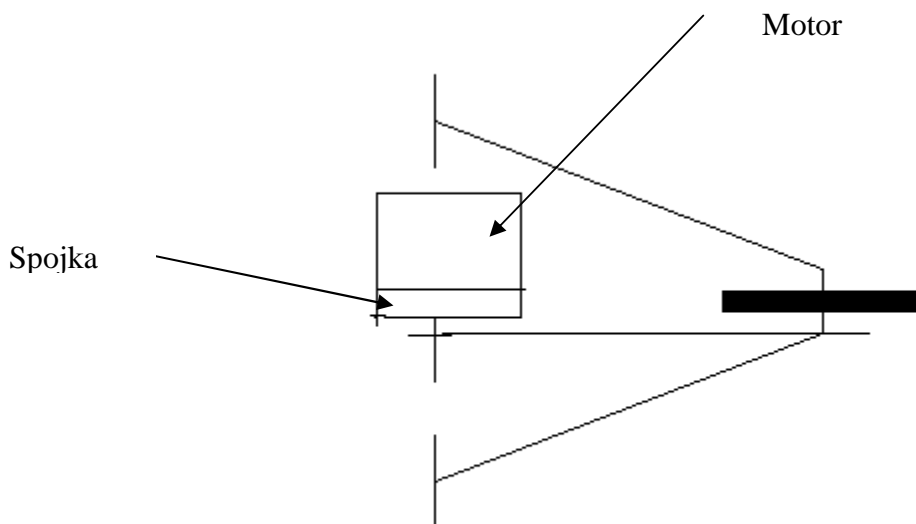
Dalším z parametrů je velikost a tvar kanálů pro přívod vzduchu a do spalovacího prostoru a pro odvod výfukových plynů pryč. Vhodnou tvorbou tvaru můžeme dosáhnout téměř optimálního proudění. Také můžeme ovlivňovat velikost průřezů kanálů přivádějících vzduch a odvádějících výfukové plyny. Jejich zvětšením můžeme usnadnit přívod a odvod plynů a tím i snížit množství energie k tomu potřebné.

K tomu patří i počet sacích a výfukových ventilů. S vyšším počtem ventilů se zlepšuje plnění i výplach válců. Vyšší počet ventilů ale znamená použití složitějšího rozvodového systému a s ním i riziko nárůstu hmotnosti pohonné jednotky a tím pádem i celého vozidla.

V případě, že se použije zážehový spalovací motor k pohonu vozidla, musí být vozidlo vybaveno spojkou. Použití spojky v případě elektromotoru odpadá, protože elektromotor je schopný pracovat od nulových otáček. Aby se omezila hmotnost a rozměrová náročnost konstrukce, je nejlepší použít odstředivou spojkou. Tato spojka nemusí ze své podstaty mít žádná táhla na ovládání pákou či pedálem. Důležité však je, aby úhlová rychlost, při které spojka začíná spínat, byla dostatečně vysoká. Tento požadavek je uveden v pravidlech poskytnutých pořadatelem. V těch se uvádí, že vozidlo se při startování nesmí pohnout silou motoru a při tankování paliva při spuštěném motoru musí zůstat v klidu. To se zajistí tak, že spínací otáčky odstředivé spojky jsou vyšší než otáčky startéru a volnoběžné otáčky motoru.

Jako sekundární převod se jeví nejlépe převod řetězový. Ten má nejnižší hmotnost, je spolehlivý a nedochází v něm k takovým ztrátám jako např. v převodu ozubenými koly.

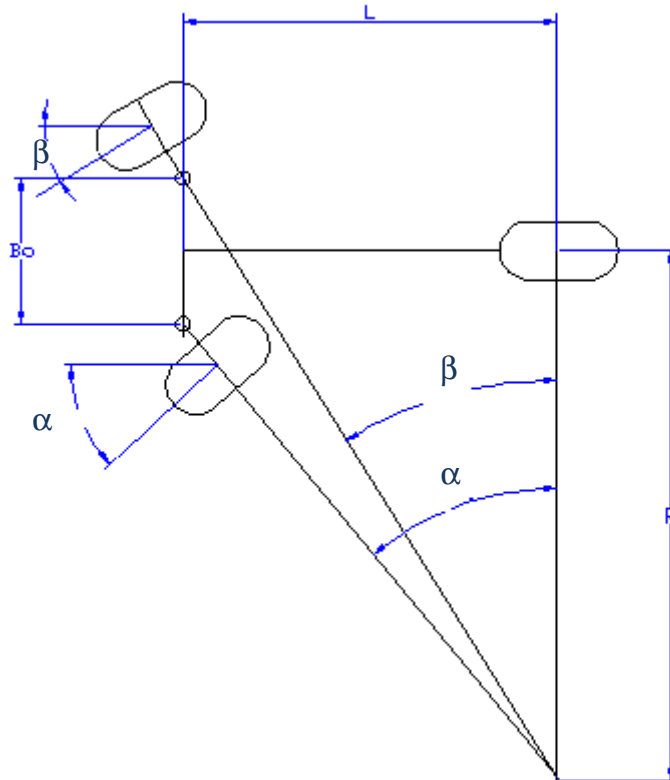
Pokud se osa klikové hřídele motoru umístí do osy čepů výkyvné vidlice, nemusí být použito žádné zařízení, které by zajišťovalo dodatečné propnutí poháněcího řetězu v závislosti na výkyvu vidlice.



Obrázek 16 Blokové schéma pohonu zadního kola.

#### 4.5. Řízení.

Jelikož hlavním a jediným působištěm vozidla je závodní dráha, nejsou na řízení kladeny tak velké nároky jako např. na řízení silničního vozidla schváleného pro provoz na silničních komunikacích. K řízení závodního vozidla jsou zapotřebí daleko menší úhly natočení kol. Nesmí se však tato oblast podcenit, neboť není potřeba jenom projíždět zatáčky závodního okruhu, ale také provádět předjíždění ostatních účastníků závodu. Případ předjíždění může během závodu s vysokou pravděpodobností nastat např. objetí vozidla, které zastavuje či stojí z důvodu poruchy, předjetí vozidla, které se zrovna nachází ve zpomalovací fázi jízdního cyklu, zatímco naše se nachází ve fázi akcelerace.



Obrázek 17 Jízdní model řízení

V pravidlech poskytnutých pořadatelem závodu je uveden požadavek na minimální poloměr zatáčení, kterého vozidlo musí dosáhnout. Jedná se o hodnotu  $R=10$  m.

Je nutno zjistit jak velké musí být natočení kol řídící nápravy, aby této hodnoty bylo dosaženo.

Použijeme rovnice:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{L}{R - \frac{B_0}{2}}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{L}{R + \frac{B_0}{2}}$$

Parametry vozidla volíme takto:

$$L = 1,5 \text{ m}$$

$$B_0 = 0,8 \text{ m}$$

Když dosadíme tyto hodnoty do rovnic, dostaneme hodnoty alfa a beta nejprve v obloukové míře a po převedení i ve stupních.

$$\alpha = 8^{\circ} 53'$$

$$\beta = 8^{\circ} 12'$$

Pro zajištění větší bezpečnosti a lepší manévrovatelnosti zvolíme maximální úhel natočení  $10^{\circ}$ .

Dále je nutné vyřešit problematiku použitého převodu řízení. Nabízí se zde několik možností:

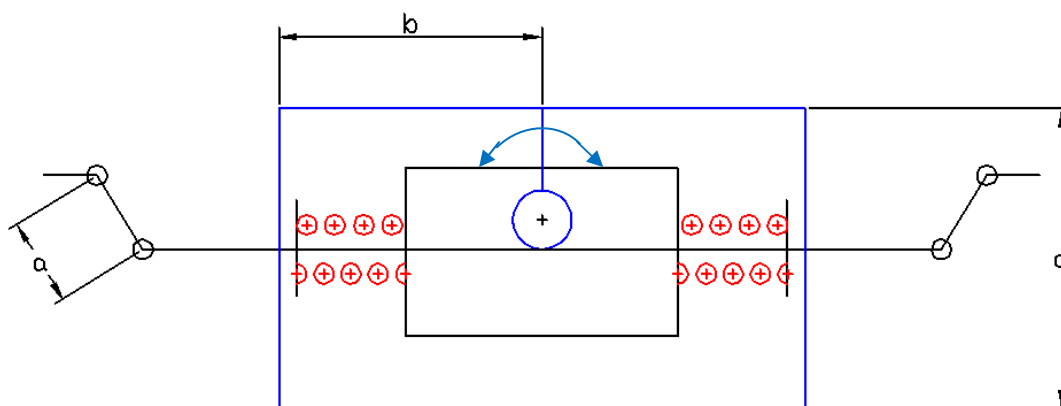
- a) Ocelová lanka zakrytá v bowdenech
- b) Hřebenová převodka řízení odpovídající velikosti s jemným ozubením.

Považuji z důvodu bezpečnosti možnost za b) jako lepší. Je to z důvodu větší bezpečnosti, i za cenu zvýšení hmotnosti.

Při řešení problematiky řízení experimentálního vozidla se nabízí jedna nekonvenční možnost. Touto možností je použití dolních končetin k ovládní řízení, místo končetin horních, jak je při řízení silničních vozidel zvykem. V tomto ohledu existují jistá pro a proti.

Tento systém je nekonvenční a jeho osvojení může dělat osobě zvyklé na konvenční způsob řízení (rozuměj řízení rukama) problémy. Jelikož se však v pravidlech uvádí hmotnost řidiče ve výstroji 50 kg je jasné, že se bude jednat o mladistvého starého cca. 15 let. Takovýto řidič není zatím zvyklý na konvenční způsob řízení a osvojení systému, jež je uveden na obrázku 18, mu nebude činit takové obtíže.

Dále se jedná o možnost, jak ušetřit váhu, neboť tento systém nepotřebuje žádná dlouhá táhla a složité mechanismy k přenosu ovládacích pokynů z rukou řidiče na kola. Tato cesta je v případě použití systému řízení nohama daleko kratší, a tudíž je zde znatelná úspora materiálu. Navíc není potřeba zvýšení kapotáže potřebné k zakrytí mechanismu řízení rukama. Tudíž je k dispozici daleko více možností jak vytvarovat přechod mezi přední a střední částí trupu.



Obrázek 18 Schematický náčrt systému nožního řízení

Modře jsou vyobrazeny pedály, které jsou pevně spojeny s ozubeným kolem. Černě jsou vyobrazeny řídicí tyče a hřebenová tyč. Červeně je vyobrazena vinutá pružina na každé straně. Jeden její konec se opírá o hřebenovou převodku řízení a druhý o talíř, který je pevně připevněn na hřebenové tyči. Na každé straně se nachází jedna pružina a obě mají za úkol navracet řízení do středové polohy.

Jako přídavek může být na osu ozubeného kola umístěn talíř se značkou, která určuje středovou polohu a několika dalšími značkami, které určují natočení ozubeného kola.

Je však nutno zjistit jak velké je natočení hřídele při maximálním požadovaném úhlu natočení kol. Maximální úhel má velikost  $10^\circ$ . Délku řídicí tyče si zvolíme  $a = 0,1$  m. Odpovídající posunutí hřebenové tyče při natočení kol o  $10^\circ$  označíme  $x$ .

$$x = a * \tan 10^\circ$$

$$x = 0,018 \text{ m}$$

Vzdálenost  $x$  odpovídá délce oblouku na roztečné kružnici ozubeného kola.

Pokud zvolíme délku  $b = 0,2$  m a délku  $c = 0,1$  metrů a požadavek na maximální délku dráhy pedálu z polohy odpovídající přímé jízdě do polohy natočení kol na  $0,1$  metru, můžeme spočítat jaký je potřebný poloměr ozubeného kola v převodce.



Jestliže sešlápneme pedál o 0,1 metru, dojde k natočení celého ústrojí a i hřídele o úhel  $\gamma$ .

Velikost úhlu  $\gamma$  můžeme spočítat z rovnice:

$$\sin \gamma = \frac{0,1}{b} = \frac{0,1}{0,2} = 0,5$$

Úhel natočení tedy odpovídá 30 stupňům.

Poloměr získáme, délku oblouku  $x$  vydělíme tímto úhlem v obloukové míře.

$$r = \frac{x}{\gamma} = \frac{0,018}{0,5236} = 0,034377m$$

Tudíž se může použít ozubené kolo o poloměru 35 mm a s velikostí modulu 4 mm. Možnost použití nožního řízení je tedy v tomto případě použitelná.

Pro optimální odvalování kol po vozovce při jejich natáčení je nejlepší dodržet Ackermanovy podmínky. Při optimálním odvalování se totiž nebude zvyšovat valivý odpor kol. Zaprvé se musí vozidlo pohybovat nízkými rychlostmi. Maximální rychlost experimentálního vozidla se bude pohybovat do  $13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , takže tento požadavek je splněn. Aby byly splněny Ackermanovy podmínky tak je dále nutné rejdové čepy umístit tak, aby jejich osa byla kolmo na vozovku. Toto není problém při konstrukci vozidla splnit. Existuje zde však riziko, které se může projevit již při jízdách zkouškách a to kmitání kol. Tomu lze zabránit nastavením mírné sbíhavosti kol přední nápravy. Požadovaná velikost sbíhavosti se určí až při jízdách zkouškách podle chování vozidla.

V případě nutnosti nastavování dalších parametrů geometrie řízení je nutno umístit rejdový čep do excentrického uložení, kdy jedna část excentru je tvořena např. čtyřhranem a jejím otáčením se může měnit poloha rejdového čepu.

#### **4.6. Použité materiály**

Existuje několik možných typů materiálů, které můžeme použít na základní rám. Použití ocelí však má jednu velkou nevýhodu a tou je vyšší hmotnost. Z toho důvodu je lepší použít slitiny neželezných kovů a to především slitiny hliníku.

Na okna máme taktéž k dispozici několik různých materiálů. Zaprvé se jedná o sklo. Základní sklo, které se používá např. v okenních tabulích, je z hlediska bezpečnosti nevhodné. Při porušení totiž vznikají velké střepy, které by mohly zranit nejenom posádku, ale i další účastníky závodu. Použití vrstvených autoskel podobných těm, které se využívají na soudobých silničních vozidlech, sice z hlediska bezpečnosti znamená velký pokrok, ale s jeho použitím neúměrně narůstá hmotnost konstrukce. Výsledným řešením je použití polykarbonátu např. lexanu, který se používá např. na motocyklistických helmách.

Na kapotáž lze taktéž vybírat z velkého sortimentu materiálů, mezi které patří např. hliníkové plechy, lamináty, plasty ABS, plasty vyztužené uhlíkovými vlákny. Výběr materiálu by měl podléhat několika kritériím, mezi které patří: pevnostní, kritérium svařitelnosti u kovových součástí, kritérium odolnosti proti povětrnostním vlivům.

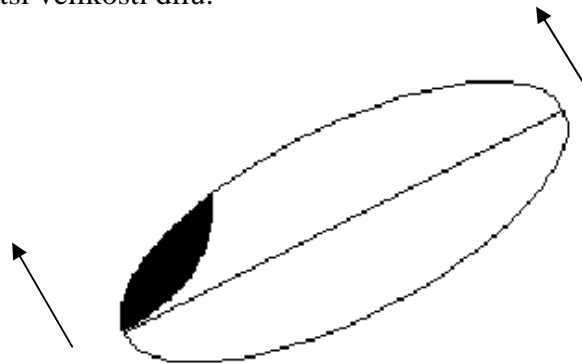
#### 4.7. Systémy otvírání prostoru pro posádku

Existuje několik způsobů, jak zajistit přístup řidiči nebo řidiče vozidla na jeho (její) místo:

##### a) Odnímatelné panely

Použití tohoto systému má jednu velkou nevýhodu. Zařízení, zabraňující samovolnému otevření prostoru pro posádku, musí být na více místech.

Odnímatelné panely mohou být tvořeny dílem, který kryje jen prostor pro osádku, nebo kusem, který tvoří s vhodným protikusem celou karoserii vozidla a tím zajišťuje přístup nejenom k prostoru pro řidiče, ale i k prostoru, kde se nachází pohonná jednotka. Nevýhodou této verze je obtížnější manipulace z důvodu větší velikosti dílu.



Obrázek 19 Schématická skica otvírání odnímatelným panelem

b) Posuvné díly na kolejničkách

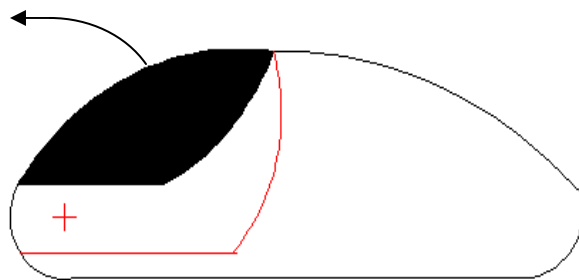
Tento systém má několik nevýhod. Zaprvé může docházet k nefunkčnosti otvírání z důvodu nečistot v kolejničce. Umístěním kolejniček vně karoserie se přístup nečistot ještě zvýší a navíc se sníží aerodynamická čistota trupu. Může tak docházet k nežádoucím změnám proudění vzduchu.

c) Výklopné díly

Tuto možnost můžeme praktikovat několika způsoby:

a. Výklopný díl, který tvoří kompletní kryt přední části vozidla

Tato možnost umožňuje velice pohodlné a rychlé nastupování. Jelikož díl tvoří kryt kompletního prostoru pro osádku, jedná se o díl velký a těžký. S tím narůstá i robustnost a náročnost konstrukce jeho otočného uložení.



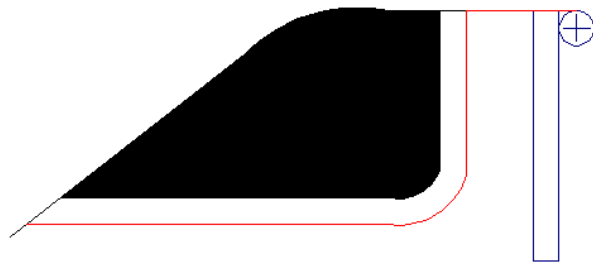
Obrázek 20 Schematická skica otvírání výklopným panelem, který tvoří přední část vozidla

b. Výklopný díl, který tvoří kryt prostoru pro osádku

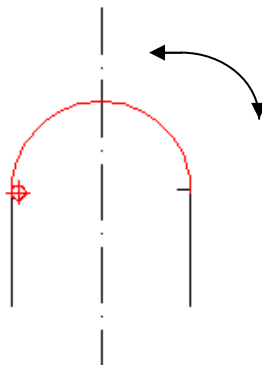
Velikostně odpovídá krytu, který je umístěn na kolejničkách. Může být vyklápěn směrem do strany, vzad nebo vpřed. Každá z těchto možností má určité výhody a nevýhody. Pokud použijeme vyklápění do strany, umožníme tak nastupování a kontrolu prostoru pro osádku jenom z jedné strany. Tím se zvyšuje náročnost manipulace s vozidlem v paddocku a nebo při přípravě na jízdní zkoušky.

S umístěním otočného uložení před řidiče při vyklápění krytu vpřed může vyvstat několik komplikací. V první řadě se může zhoršit výhled z kabiny z důvodu omezení plochy okna, které musí částečně ustoupit uložení krytu.

Z výše uvedených důvodů vyplývá, že nejlepší možností je použití dílu, který se vyklápí vzad. Na umístění otočného uložení můžeme využít ochranný rám a tak nemusíme přidávat žádné další nosníky, které by tvořili pomocný rám na uchycení krytu. Tím se zabrání příliš velkému zvýšení hmotnosti. Proti samovolnému otevření krytu vozidla při jízdě můžeme použít podobný systém, který se používá u kapot osobních vozidel schválených pro silniční provoz. Pohyb háčku však nebude prováděn v rovině kolmé na podélnou osu vozidla, ale v rovině rovnoběžné s touto osou.



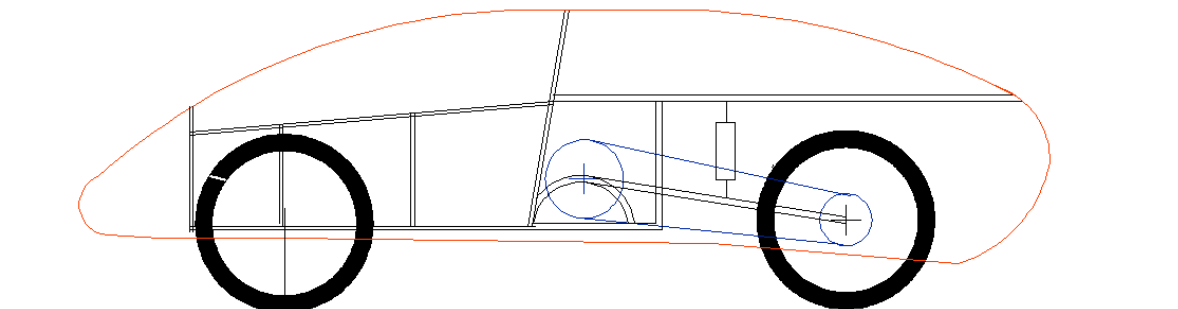
Obrázek 21 Schematický náčrt otvírání výklopným panelem vzad



Obrázek 22 Schematický náčrt otvírání výklopným panelem do strany

Modře je znázorněn samotný výklopný kryt, zeleně karoserie. Na obrázku č. 22 je černou barvou znázorněna část ochranného rámu. Na něj je umístěno otočné uložení výklopného krytu. Zámky a pojistné mechanismy proti otevření za jízdy se dají zkonstruovat mnoha způsoby. Při volbě konstrukce zámku je nutno brát v potaz zastavení vnitřního prostoru, aby nedocházelo ke kolizím s jinými systémy, které jsou umístěny v prostoru pro posádku. Zároveň nesmíme zapomenout na ochranu posádky. Tudíž by zámek neměl mít žádné ostré konce, aby nedošlo k poranění řidiče či řidičky.

## 5. Vlastní návrhy koncepce



Obrázek 23 Koncepce č. 1

### 5.1. Koncepce č. 1.

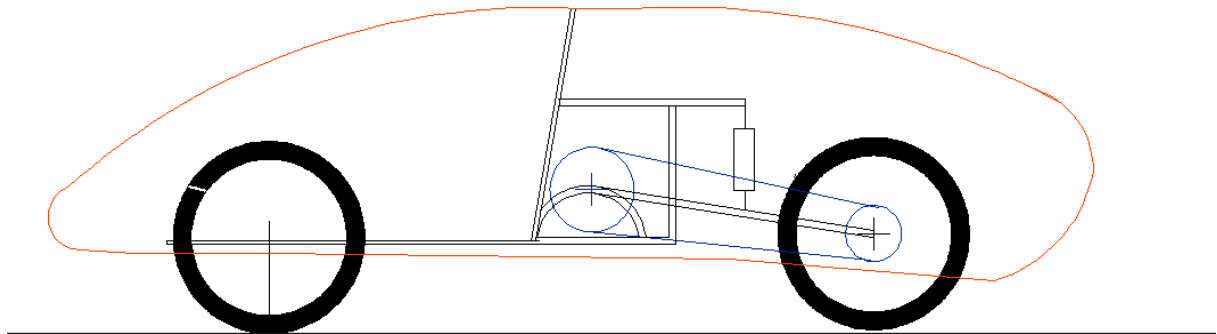
Tento návrh využívá prostorového rámu, jako základního nosného prvku. Vozidlo má na přední nápravě dvě říditelná kola a zadní náprava je tvořena jen jedním kolem na výkyvné vidlici. Černě jsou na obrázku vyznačeny nosné prvky, modře součásti pohonného ústrojí a červený obrys značí možný tvar kapotáže. Jak lze vidět, zadní vidlice je odpružena pomocí hydraulické či hydropneumatické jednotky. Použití výkyvné vidlice je nutné při použití spalovacího motoru jako pohonné jednotky. Je to z toho důvodu, že při běhu spalovacího motoru dochází ke kolísání otáček a tak by mohlo docházet k odskakování kola. Samotné naladění tlumící jednotky může probíhat teprve po zjištění dat z jízdních testů. Primární výběr této součásti však musí být takový, aby byl brán ohled na zatížení a umístění dané části.

Použití pryžových silentbloků k uchycení pohonného agregátu je samozřejmostí. Pokud bychom tento prvek vynechali, mohlo by docházet k šíření vibrací od pohonného ústrojí po celém vozidle. Tak by docházelo ke vzniku rezonancí určitých součástí, nebo ke vzniku únavového poškození.

Motor může, ale nemusí, být připevněn na vyvýšeném rámu. Pokud nám nevadí, že nám řetězový převod bude narušovat aerodynamickou čistotu spodní strany vozidla, může být motor umístěn na rámu, který se nachází v úrovni podlahy prostoru pro osádku, tzn. na rámu, který není vyvýšen.

Výhodou koncepce č. 1 je její flexibilita. Jelikož je vozidlo částečně odpruženo, nepřenáší se na řidiče tolik rázů a vibrací. Tudiž je řidič schopen udržet vyšší úroveň koncentrace po delší dobu.

## 5.2. Koncepce č. 2



Obrázek 24 Koncepce č. 3

Koncepce č. 2 je podobná koncepci č. 1. Liší se od ní však použitím jiných nosných prvků. Zatímco u koncepce č. 1 propůjčoval vozidlu dostatečnou tuhost prostorový rám, u tohoto vozidla tvoří rám pouze podlahu prostoru pro řidiče, ochranný rám, který chrání řidiče při převržení, a zadní částí, na které je připevněn motor. Tento rám je taktéž tvořen nosníky o kruhovém průřezu. Rozdíl mezi ohybovými tuhostmi rámu použitého u koncepce č. 1 a rámu použitého u koncepce č. 2. musí doplnit tuhost vlastní karoserie. Ta tudiž nemůže být jako v případě verze 1 vyrobena např., z laminátů, ale musí se použít například CFRP neboli plast vyztužený uhlíkovými vlákny.

Tato verze má stejné výhody a nevýhody jako verze č. 1. Je však z důvodu použitých materiálů daleko náročnější na výrobu.

### 5.3. Koncepce č. 3.

Verze č. 3 se liší od předešlých verzí tím, že karoserie je samonosná. Tzn., že je karoserie jediným nosným prvkem a trubkový rám se ve vozidle nenachází. Tato možnost je velice náročná na vývoj a na výrobu. Najdou zde využití karbonová vlákna. Ta mají však jednu zásadní nevýhodu. Pokud dojde k jejich poškození, musí dojít ke kompletní výměně. Když si vezmeme, že kompletní nosná struktura se skládá z jednoho nebo několika výlisků, tak se výměna jedné nebo více částí rovná výměně kompletně celého vozidla. Ač je tato možnost velice lákavá a moderní, přináší s sebou více komplikací, než je únosná mez.

U všech verzí je uvažována verze s plně zakrytým prostorem pro posádku. Tato verze je z aerodynamického hlediska daleko výhodnější nežli verze s částečným zakrytím prostoru pro řidiče. Aerodynamická čistota není jediným důvodem, upřednostnění úplné kapotáže. Dalším důvodem je ochrana řidiče.

## 6. Stanovení dalšího postupu při přípravě realizace

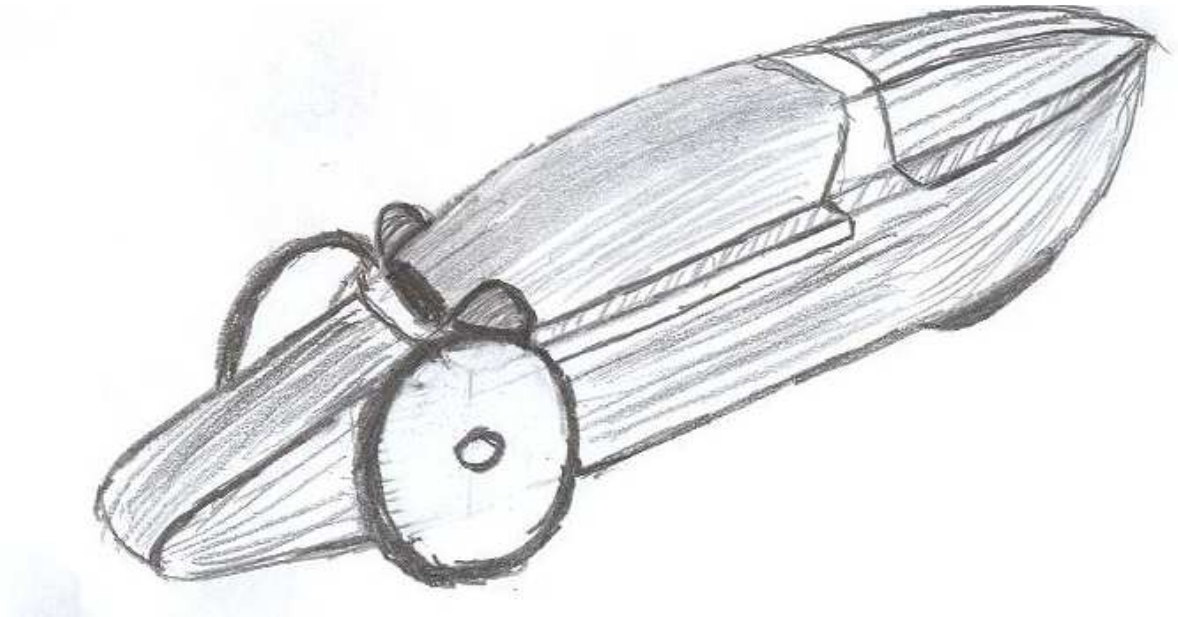
Další postup spočívá v nalezení vhodné pohonné jednotky. Po jejím vybrání můžeme kolem ní navrhnout rám. Prvotní rozvržení nosníků v rámu a jejich tvar by mělo využívat nejenom poučky a teorie z mechaniky ale i z aerodynamiky. Následný krok by měl být v namodelování rámu v programu využívajícím metodu konečných prvků, viz SolidWorks. Takto zjistíme namáhání konstrukce. Po odladění modelu a případném upravení prvotního rozložení prutů v rámu můžeme vybrat materiál, který splňuje dané požadavky.

Se znalostí materiálu a rozměrů, které jsme již předtím zadali do programu, můžeme zjistit hmotnost. Dále vytvoříme zmenšeninu rámu v určitém poměru. Tento poměr musí zajišťovat, aby se nám daný model vešel do aerodynamického tunelu. Na této zmenšenině můžeme začít tvořit kapotáž, jejíž aerodynamické vlastnosti ověříme zkouškou v tunelu. Tyto aerodynamické vlastnosti jsou: součinitel odporu vzduchu a čelní plocha. Čelní plochu vozidla získáme tak, že čelní plochu modelu, vynásobíme měřítkem, ve kterém je model vyroben. Poté již můžeme vytvořit karoserii v měřítku 1:1. Následovně zvážíme díly kapotáže a získáme tak celkovou hmotnost karoserie bez příslušenství. K té přičteme hmotnost řidiče, sedáku, řídicího ústrojí, motoru a převodových součástí. Tuto hmotnost vynásobíme bezpečnostním koeficientem a získáme hmotnost, na kterou budeme dimenzovat náboje kol a brzdové ústrojí. Po výpočtech již může začít montáž na vozidlo a následné jízdní zkoušky v bezpečném a kontrolovaném prostředí. Během těchto jízd je třeba se zaměřit na odladění

všech komponentů. Zároveň je možné využít tyto zkoušky k naměření spotřeby a ke zjištění spolehlivosti použitých součástí. Zároveň mohou parametry, získané z těchto pokusů nebo získané přímo na závodě, přispět k vývoji kvalitnějších a efektivnějších komponentů, které přispějí k vysoké konkurenceschopnosti konstrukce.

Při prvních etapách vývoje je možné vydat se několika cestami.

- a) Vytvořit model a ozkoušet ho v aerodynamickém tunelu. Následně vytvořit rám, který tvoří vnitřní kostru modelu a vydrží dané namáhání. To se ověří pevnostní analýzou v programech MKP.
- b) Vytvořit model rámu. Následně provést analýzu v programu MKP. Poté teprve vytvořit na této kostře model a ten vyzkoušet v aerodynamickém tunelu.
- c) Místo provedení reálné zkoušky využít možnosti počítačové simulace a vytvořit samonosnou karoserii z kompozitů a pomocí programů CFD neboli computational fluid dynamics provést zjištění aerodynamických vlastností karoserie. Tato možnost je ale velice náročná na odladění modelu a v případě zadání špatných počátečních dat je celá analýza, která může trvat i několik dnů, k ničemu.

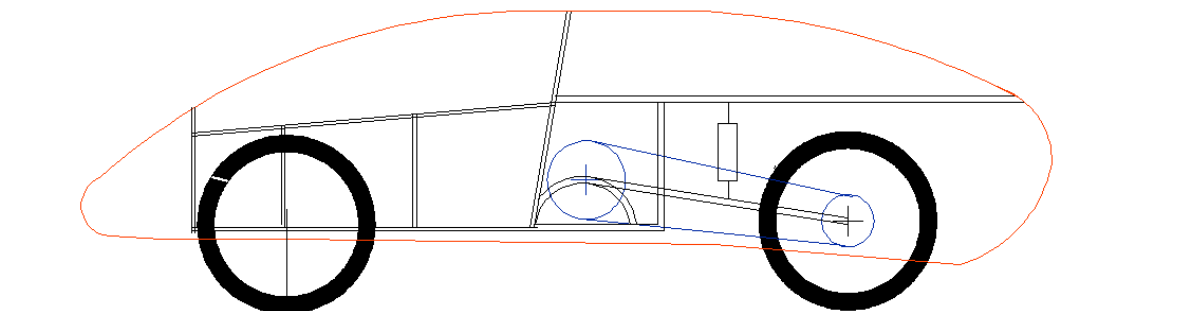


Obrázek 25 Návrh designu vozidla



## 7. Závěr

Cílem této práce byl základní ideový návrh koncepce lehkého experimentálního vozidla pro závody ecorallye. Z celkového nahlédnutí do problematiky a porovnání návrhů s požadavky pořadatele závodu vyšlo několik koncepcí. S ohledem na bezpečnost, jednoduchost a nenáročnost konstrukce jsem vybral koncepci č. 1 uvedenou v kapitole č. 5. 1. na straně 46.



Obrázek 26 Zvolená koncepce

Nejen, že je tato koncepce vyhovující z hlediska bezpečnosti a jednoduchosti, ale také předčí ostatní koncepce zde uvedené svoji flexibilitou, která umožňuje použití jak spalovacího motoru, tak i případně elektromotoru, k jejímu pohonu.

Jako její nosný prvek je použit prostorový rám, z důvodu jeho jednoduchosti, nižší náročnosti jeho výroby a flexibility oproti monokoku. Jednoduchost a flexibilita jsou hlavní vlastnosti návrhu, jelikož tyto vlastnosti poskytují při dalším postupu daleko více možností rozmístění jednotlivých součástí. Toto rozmístění se totiž z důvodu případných poznatků z jízdních zkoušek může měnit.

Dalším důležitým parametrem je umístění kol vně trupu. Tímto se sníží čelní plocha vozidla. Tím, že se umístí kola vně trupu, může být přední část trupu tvarována daleko vhodněji z aerodynamického hlediska, aby bylo dosaženo co nejlepšího součinitele aerodynamického odporu  $c_x$ .

Při řešení problematiky týkající se spotřeby je nutno brát v potaz i jízdní cyklus. Z kapitoly č. 3 vyplývá, že vhodnější z hlediska spotřeby je jízdní cyklus se střídavou akcelerací a decelerací. Hodnoty v kapitole č. 3 jsou brány jako hrubé a je to ten nejvíce náročný případ z energetického hlediska. I přesto z rozboru vyplývá, že i pro tento případ je vhodnější střídavý cyklus. Během vývoje se jednotlivé parametry jistě přiblíží optimálním

hodnotám a tak klesnou i hodnoty jízdních odporů a fázi akcelerace bude možno zvládnout za kratší časový interval, než je zde uvedeno a fáze decelerace bude trvat daleko déle. Tudiž bude tento cyklus z energetického hlediska ještě lepší, než je zde uvedeno.

V kapitole č. 6. je uveden další možný postup. Nejedná se o nic jednoduchého a každé části dalšího postupu a každé součásti experimentálního vozidla by měla být věnována maximální pozornost. A to nejen z důvodu bezpečnosti a spolehlivosti, ale také efektivity. Pokud se podaří snížit hmotnost, nebo snížit aerodynamický odpor, může se snížit potřebný výkon motoru, či náročnost konstrukce. Tento koloběh se zvyšováním efektivity konstrukce se může opakovat. Nesmí však pokračovat na úkor bezpečnosti jak ostatních účastníků závodu, nebo pracovníků v boxech, tak samotné posádky.

## Použitá literatura

[1] VALA, Miroslav a Miroslav TESAŘ. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. 2003. vyd. Pardubice. ISBN 80-7194-503-X.

[2] *AquaPhoenix.com* [online]. 2003 [cit. 2011-04-26]. Matlab Lecture 5. Dostupné z WWW: <<http://www.aquaphoenix.com/lecture/matlab5/page2.html>>.

[3] *Rolfprima.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-04-26]. Karbonová kola. Dostupné z WWW: <<http://www.rolfprima.cz/rolfprima/eshop/1-1-KARBONOVA-ZAPLETENA-KOLA/0/5/16-Rolf-PRIMA-Carbon-DISC>>.

[3] *UltimateRC.com* [online]. 2008 [cit. 2011-05-09]. Rc. Dostupné z WWW: <<http://www.ultimaterc.com/forums/showthread.php?t=86893>>.

[4] *THE HYPERLOGOS* [online]. 2006 [cit. 2011-05-09]. Tube Frame Diagram. Dostupné z WWW: <<http://www.hyperlogos.org/image/chassis/Tube-Frame-Diagram>>.

[5] *Monokok* [online]. 2006 [cit. 2011-05-09]. F1.sk. Dostupné z WWW: <http://www.f1.sk/spravy/?clanok=15662>

[6] *Bike198* [online]. 2010 [cit. 2011-05-09]. Review: Formula RX Hydraulic Disc Brakes for Mountain Bikes. Dostupné z WWW: <<http://mountain.bike198.com/review-formula-rx-hydraulic-disc-brakes-for-mountain-bikes/>>.

*Shell* [online]. 2010 [cit. 2011-05-09]. Shell Eco-marathon 2011 CHAPTER I - Official Rules. Dostupné z WWW: <[http://www-static.shell.com/static/ecomarathon/downloads/2011/global/SEM\\_Rules\\_2011\\_Final.pdf](http://www-static.shell.com/static/ecomarathon/downloads/2011/global/SEM_Rules_2011_Final.pdf)>.

*Shell* [online]. 2010 [cit. 2011-05-09]. Shell Eco-marathon Europe 2011 EuroSpeedway Lausitz, Germany 26-28 May CHAPTER II – European rules. Dostupné z WWW: <[http://www-static.shell.com/static/ecomarathon/downloads/2011/europe/Chapter\\_II\\_SEME\\_201-FINAL.pdf](http://www-static.shell.com/static/ecomarathon/downloads/2011/europe/Chapter_II_SEME_201-FINAL.pdf)>.

## Seznam obrázků

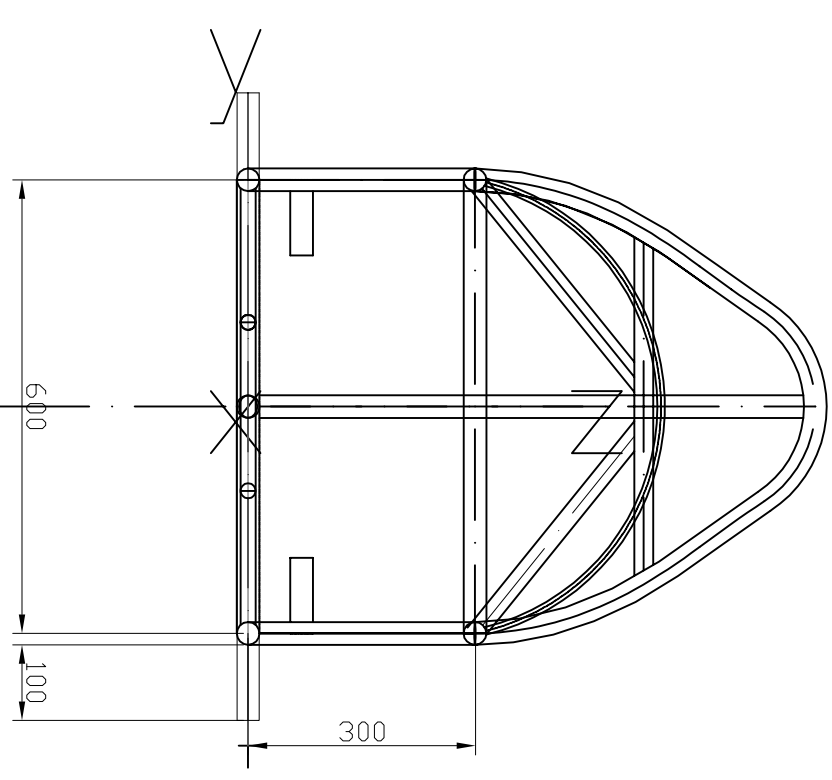
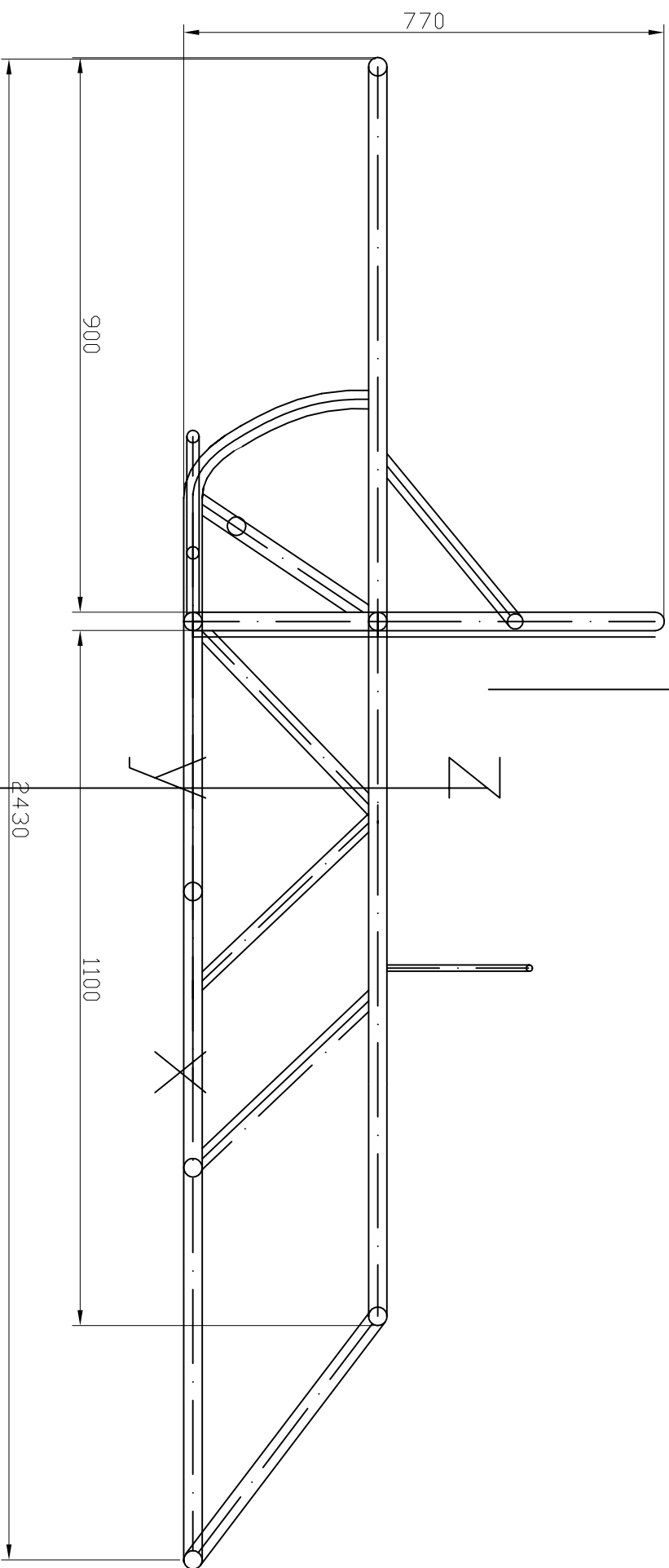
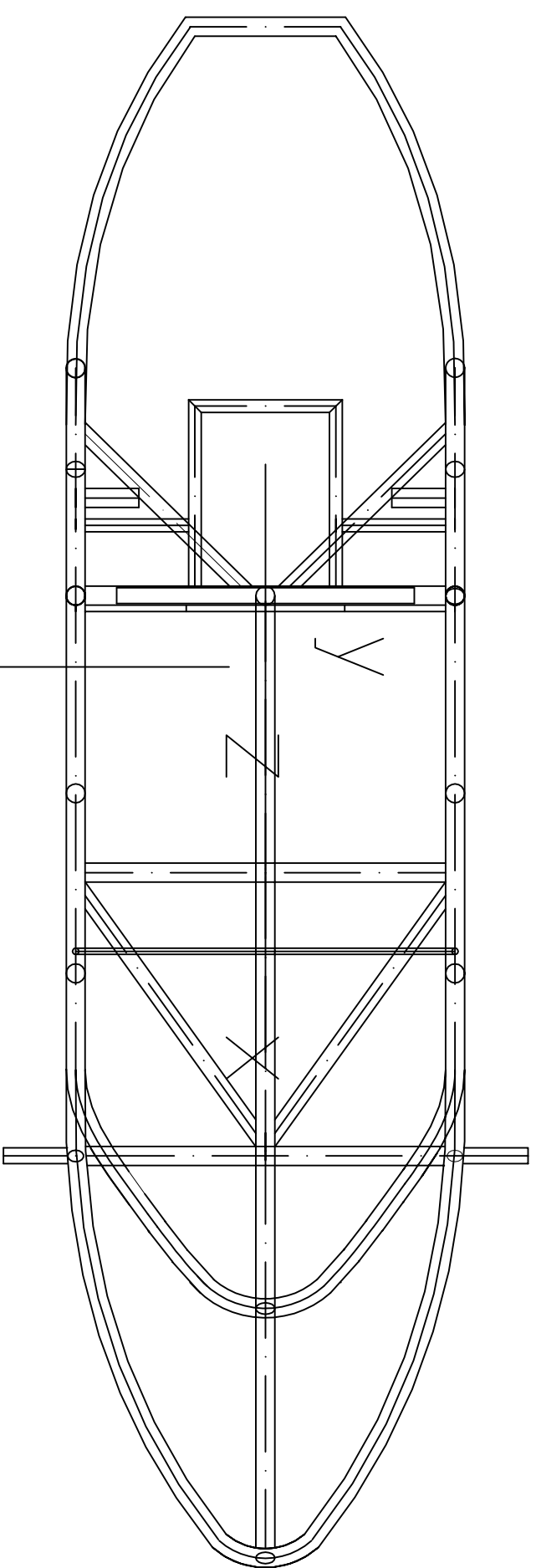
Obrázek 1 Síly působící na vozidlo při jízdě po rovině .....	15
Obrázek 2 Aerodynamické koeficienty jednotlivých tvarů[2] .....	17
Obrázek 3 Koncepce a) .....	25
Obrázek 4 Koncepce b) .....	25
Obrázek 5 Skica postupného vývoje tvaru od ideálního k reálnému .....	27
Obrázek 6 Skica základního schématu koncepce.....	28
Obrázek 7 Karbonový aerodynamicky tvarovaný disk [3] .....	29
Obrázek 8 Tvar zpětného zrcátka .....	30
Obrázek 9 Příklad prostorového trubkového rámu [4].....	31
Obrázek 10 Příklad monokoku [5] .....	32
Obrázek 11 Návrh rámu pohled č.1 .....	33
Obrázek 12 Návrh rámu pohled č. 2 .....	33
Obrázek 13 Příklad kotoučové brzdy pro použití na jízdních kolech [6].....	34
Obrázek 14 Skica ovládacího prvku brzdového systému.....	35
Obrázek 15 Skica rozvržení brzdového systému .....	35
Obrázek 16 Blokové schéma pohonu zadního kola. ....	38
Obrázek 17 Jízdní model řízení.....	39
Obrázek 18 Schematický náčrt systému nožního řízení .....	41
Obrázek 19 Schematická skica otvírání odnímatelným panelem.....	43
Obrázek 20 Schematická skica otvírání výklopným panelem, který tvoří přední část vozidla	44
Obrázek 21 Schematický náčrt otvírání výklopným panelem vzad.....	45
Obrázek 22 Schematický náčrt otvírání výklopným panelem do strany .....	45
Obrázek 23 Koncepce č. 1 .....	46
Obrázek 24 Koncepce č. 3.....	47
Obrázek 25 Návrh designu vozidla .....	49
Obrázek 26 Zvolená koncepce .....	50

## **Seznam příloh**

Příloha 1 Pravidla Shell Eco Marathon 2011 v originálním znění

Příloha 2 Typový výkres nosného rámu

Příloha č. 1 je na CD.



Odkaz	Kusů	Název/Jméno, Označení, Materiál, rozměr atp.	Položka č./Reference
Kreslil Bačkovský Lukáš	XXX	Schválil - Datum XXX - 00/00/00	Jméno souboru Rám
			Datum 18.05.2012
			Měřítko 1:10

UPCE		Prostorový rám	
	1	Verze	Líst
		1	1/1

