

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Ideový návrh třístopého městského vozidla

Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David Remeš**
Osobní číslo: **D16165**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu: **Ideový návrh třístopého městského vozidla**
Zadávající 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 :

Cíl práce: Zpracování ideového návrhu třístopého městského vozidla

Osnova:

- 1) Úvod
- 2) Specifika městského provozu a nároky na vozidlo
- 3) Návrh možných koncepcí třístopého vozidla
- 4) Volba nejvhodnější koncepce pro návrh vozidla
- 5) Zpracování vybraných trakčních vlastností navrženého vozidla
- 6) Zhodnocení a závěr

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

[1] VALA, M., TESAŘ, M.: Teorie a konstrukce silničních vozidel I. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003. ISBN 80-7194-503-X.

[2] VLK, F.: Stavba motorových vozidel: [osobní automobily, autobusy, nákladní automobily, jízdní soupravy, ergonomika, biomechanika, struktura, kolize, materiály]. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2003. ISBN 80-238-8757-2.

[3] JAN, Z., VÉMOLA, A., ŽDÁNSKÝ, B.: Automobily II. Brno: Technické překladatelství a vydavatelství, s.a.

[4] KOVANDA, J., RESL, I., SOCHA, J.: Konstrukce automobilů: pérování vozidel. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01624-2.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Jilek, Ph.D.

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: 15. února 2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 20. května 2019

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2019

Prohlašuji:

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

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, 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 této 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.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

David Remeš

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval všem, kteří mi byli nápomocni při tvorbě bakalářské práce, zvláště pak panu Ing. Petru Jílkovi Ph.D. za odborné vedení a cenné rady.

Anotace

Práce je zaměřena na ideový návrh třístopého městského vozidla. V první části jsou uvedeny specifika městského provozu a z nich plynoucí nároky na vozidlo. Následně jsou uvedeny vybrané koncepce tříkolového vozidla a z nich vybrána nejvhodnější pro městský provoz. Na závěr jsou vypracovány vybrané trakční vlastnosti vozidla.

Klíčová slova

Tříkolové vozidlo, město, provoz, koncepce

Title

Ideal design of a three-wheeled city vehicle

Annotation

This work is focused on the idea of a three-wheeled city vehicle. In the first part we have specified the specifics of city traffic and the resulting demands on the vehicle. Subsequently, selected concepts of three-wheeled vehicle and the most suitable for urban traffic are presented. Finally, the selected traction characteristics of the vehicle are elaborated.

Keywords

Three-wheeled vehicle, city, traffic, conception

Obsah

Úvod.....	11
1 Specifika městského provozu a nároky na vozidlo	12
1.1 Město.....	12
1.2 Doprava ve městě.....	13
1.2.1 Pěší a cyklo doprava	14
1.2.2 Městská hromadná doprava	14
1.2.3 Taxislužba.....	14
1.2.4 Osobní silniční doprava	15
1.3 Kei cars.....	16
1.3.1 Daihatsu Copen.....	16
1.3.2 Honda N-Box.....	16
1.3.3 Smart ForTwo	17
1.3.4 Renault Twizy.....	18
1.4 Nároky na vozidlo	19
2 Návrh možných koncepcí třístopého vozidla	21
2.1 Koncepce dvě kola vpředu a jedno vzadu.....	21
2.1.1 Motor vpředu, pohon předních kol	22
2.1.2 Motor vpředu, pohon zadního kola.....	23
2.1.3 Motor vzadu, pohon zadního kola	24
2.2 Dvě kola vzadu a jedno vpředu.....	26
2.2.1 Motor vpředu a pohon zadních kol	26
2.2.2 Motor vzadu a pohon zadních kol.....	28
3 Volba nejvhodnější koncepce pro návrh vozidla.....	29
4 Zpracování vybraných trakčních vlastností navrženého vozidla.....	34
4.1 Parametry vozidla.....	34
4.2 Výpočet odporů.....	36

4.2.1	Výpočet čelní plochy vozidla	36
4.2.2	Výpočet odporu vzduchu	37
4.2.3	Výpočet odporu valení.....	37
4.2.4	Odpor stoupání.....	38
4.3	Výpočet trakční síly	39
4.3.1	Výpočet dynamického poloměru	39
4.3.2	Výpočet trakční síly vozidla	39
4.3.3	Výpočet rychlosti vozidla	40
4.4	Trakční diagram	41
4.4.1	Maximální rychlost vozidla na jednotlivé rychlostní stupně	41
4.4.2	Maximální stoupavost na jednotlivé rychlostní stupně.....	42
4.4.3	Přebytek hnací síly	42
	Zhodnocení a závěr	44
	Použitá literatura	45

Seznam ilustrací a tabulek

Obrázek 1 – Graf rozložení dopravy v Pardubicích a okolí [11].....	13
Tabulka 1 – Technické parametry Daihatsu Copen [16]	16
Obrázek 2 – Daihatsu Copen [16].....	16
Tabulka 2 – Technické parametry Honda N-Box [18]	17
Obrázek 3 – Honda N-Box [34].....	17
Tabulka 3 – Technické parametry Smart ForTwo [20]	17
Obrázek 4 – Smart ForTwo [35].....	18
Tabulka 4 – Technické parametry Renault Twizy [23]	18
Obrázek 5 – Renault Twizy [36].....	18
Obrázek 6 – Porovnání šířky automobilů a parkovacího místa [37]	19
Obrázek 7 – Průměry otáčení vybraných automobilů [38].....	20
Obrázek 8 – Schéma řízení pro dvě kola vpředu	21
Tabulka 5 – Technické parametry Berkeley T60 [27]	22
Obrázek 9 – Berkeley T60 [39]	23
Tabulka 6 – Technické parametry Morgan 3 Wheeler [27].....	24
Obrázek 10 – Morgan 3 Wheeler [40]	24
Tabulka 7 – Technické parametry Velorex [28]	25
Obrázek 11 - Velorex [41]	25
Obrázek 12 – Schéma řízení pro jedno kolo vpředu.....	26
Tabulka 8 – Technické parametry Reliant Robin [29]	27
Obrázek 13 – Reliant Robin [42]	27
Tabulka 9 – Technické parametry Thunderbolt Streamer [31][32]	28
Obrázek 14 – Thunderbolt Streamer [43]	28
Tabulka 10 – Poloměry otáčení vozidla při daném úhlu natočení předního kola.....	29
Obrázek 15 – Schéma vlivu polohy těžiště na stabilitu vozidla	30
Obrázek 16 – Schéma konstrukce Smart ForTwo [7 s. 41]	30
Obrázek 17 – Schéma figuríny dle doporučení SAE J833a a normy VDI 2780 [7 s. 219]	31
Tabulka 11 – Rozměry figuríny dle doporučení SAE J833a a normy VDI 2780 [7 s. 219]	32
Obrázek 18 – Schéma vnitřního rozložení navrženého vozidla	32
Obrázek 19 – Základní rozměry navrženého vozidla	32
Obrázek 20 – Jednoduchý 3D model navrženého vozidla.....	33
Tabulka 12 – Parametry navrženého vozidla [44,45]	34

Obrázek 21 – Charakteristika zvoleného motoru z vozidla Smart ForTwo [46].....	35
Tabulka 13 – Charakteristika motoru	35
Obrázek 22 – Výpočet čelní plochy vozidla pomocí projekce [8 s. 27].....	36
Tabulka 14 – Hodnoty součinitele odporů vzduchu a čelních ploch vozidel [8 s. 29].....	36
Obrázek 23 – Schéma momentu odporu valení M_{fk} [8 s. 22]	37
Tabulka 15 – Součinitele valivého odporu pro různé typy povrchu [8 s. 23].....	38
Obrázek 24 – Schéma odporu stoupání	38
Tabulka 16 – Hodnoty trakčních síl vozidla pro jednotlivé rychlostní stupně	39
Tabulka 17 – Hodnoty rychlostí vozidla pro jednotlivé rychlostní stupně.....	40
Obrázek 25 – Trakční diagram navrženého vozidla	41
Tabulka 18 – Maximální rychlosti na jednotlivé rychlostní stupně.....	41
Tabulka 19 – Maximální hodnoty stoupání na jednotlivé rychlostní stupně.....	42
Tabulka 20 – Součinitele vlivu rotujících hmot pro jednotlivé rychlostní stupně.....	42
Tabulka 21 – Využití přebytku hnací síly na akceleraci vozidla	43

Úvod

Ve své bakalářské práci se zabývám tvorbou ideového návrhu třístopého městského vozidla. Toto téma jsem zvolil z důvodu neustále přibývajících automobilů na pozemních komunikacích. Největší dopad má tento problém na městský provoz, kde zejména v dopravních špičkách vznikají dlouhé kolony a dopravní zácpy. Vozidla se také neustále zvětšují, ale například parkovací místa zůstávají stejná. Možným řešením je použití takových městských vozidel, které by svými rozměry splňovaly nároky na městský provoz. V Japonsku se využívá tzv. Kei Cars, které jsou téměř ideálními městskými vozidly. Nabízí se také tříkolové vozidlo, které může být provedeno v několika koncepcích. Příkladem může být koncepce s jedním kolem vpředu a dvěma vzadu nebo pravý opak, tedy dvě kola vpředu a jedno vzadu. Volba nejvhodnější koncepce je důležitá, protože na ní závisí jízdní vlastnosti, velikost vnitřního prostoru a jiné.

1 Specifika městského provozu a nároky na vozidlo

1.1 Město

Město je sídelní útvar, který se podle určitých znaků odlišuje od vesnic. Příkladem může být minimální počet obyvatel alespoň 3000. Další jednotlivé znaky jsou pro přehlednost uvedeny v seznamu níže. Po splnění těchto znaků je titul město udělován předsedou Poslanecké sněmovny Parlamentu české republiky. Město může mít i nižší počet obyvatel než 3000, předpokladem je ale historicky udělený titul. [1 s. 42] Nejmenším městem v ČR je Přebuz v okrese Sokolov s počtem obyvatel 73. K 31.12.2018 měla ČR celkem 606 měst a z toho 31 měst má méně než 1000 obyvatel. [9] Základními prvky města jsou komunikace, z nichž se postupem času stala uliční síť města. Dalším prvkem jsou pozemky a budovy, ze kterých se stávají bloky zástavby. [1 s. 45] Města nabývají celosvětově stále většího významu, což dokazují různé statistiky. Například v padesátých letech minulého století činil počet obyvatel městských oblastí přibližně 750 miliónů, dnes je to více než 3 miliardy obyvatel. Tedy více než polovina světového obyvatelstva. Údaj pro Evropu je ještě mnohem vyšší, odhaduje se přibližně 80 % obyvatelstva. [2 s. 13]

Znaky města: [10] [1 s. 42]

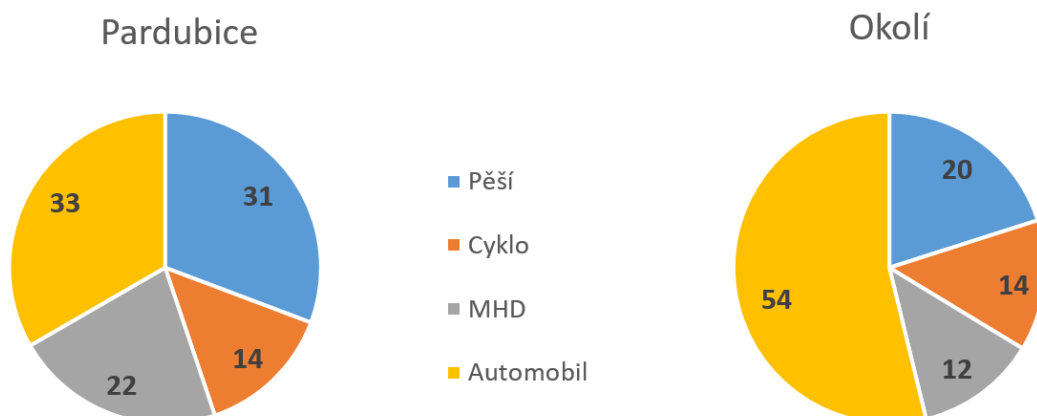
- Vysoká hustota obyvatelstva
- Minimálně 3000 obyvatel (pokud není historicky udělený titul)
- Větší velikost než ostatní sídla
- Vysoká hustota zástavby
- Vnitřní různorodost města (moderní i historické budovy, které dodávají každému městu jedinečný vzhled)
- Typická místa pro město – náměstí, ulice, nádraží, zastávky MHD, parky, kulturní, sportovní, zdravotnická, správní zařízení atd.
- Nezávislost a samostatnost města (ve smyslu pracovních příležitostí, bydlení a poskytování služeb)
- Více pracovních příležitostí v průmyslu
- Vyšší správní jednotka pro okolní sídla
- Vyšší koncentrace obyvatel během dne (turismus, dojíždění za pracovními příležitostmi, službami atd)
- Propracovaná dopravní síť města (individuální i městská doprava)

1.2 Doprava ve městě

„Vztah mezi dopravou a růstem měst je zjevný od samých počátků urbanizace. Města vznikala na křižovatkách obchodních cest a jejich růst byl determinován ve velké míře technickými a ekonomickými možnostmi dopravy.“ [2 s. 3]

Doprava se stala nedílnou součástí rozrůstání měst. Během posledních let výrazně roste objem automobilové dopravy, což vede k dopravním zácpám, omezení chodců apod. Dopravní infrastruktura, která je společná i pro MHD, zabírá veřejný prostor sídel. Místa, kde se mohli lidé volně pohybovat, dnes slouží například jako odstavná parkoviště. Levná, rychlá a bezpečná doprava je dnes téměř nezbytná. [2 s. 3]

Například obyvatelé Pardubic využívají osobního automobilu k 33 % všech svých cest. MHD využívá 22 % obyvatel. Zbytek využívá jízdních kol nebo se dopravují pěšky. Oproti tomu lidé z blízkého okolí Pardubic používají vozidlo z 54 % a ostatní druhy dopravy výrazně méně. Rozdíl je způsoben dostupností služeb. Tedy služby jako jsou obchody, školy, pracovní příležitosti jsou ve městě rozmístěny v poměrně krátkých a dostupných vzdálenostech. Obyvatelé okolí města musí urazit delší vzdálenost za těmito službami, pro přehlednost viz obrázek č. 1. [11]



Obrázek 1 – Graf rozložení dopravy v Pardubicích a okolí [11]

1.2.1 Pěší a cyklo doprava

Tato doprava je nejlevnější a mezi obyvateli měst téměř nejoblíbenější, nejvíce z důvodu časové flexibility. V převážné většině se využívá na krátké vzdálenosti. Problémem může být doba cestování, která je v porovnání s ostatními druhy dopravy delší. Pěší doprava, až na přechody pro chodce, není téměř omezena provozem ve městě. Cyklisté často využívají i cyklistické stezky, které zabraňují styku s městským provozem. Výrazně se tak zvyšuje i bezpečnost provozu na pozemních komunikacích.

1.2.2 Městská hromadná doprava

Ve větších městech funguje MHD, která ve velké míře ulevuje provozu. Její hlavní předností je, že využívá větší obsazenosti osob ve vozidle. Nejčastěji jsou k přepravě používány autobusy. Nejsou to totiž drážní vozidla a mohou se pohybovat téměř kdekoliv po městě. Kladem je také větší počet autobusových zastávek. V Pardubicích vznikla první autobusová linka již v roce 1950. [12] Další možností jsou trolejbusy, ty jsou ovšem již vedeny jako drážní vozidla, a tak se mohou pohybovat pouze po trasách, kde je trolejové vedení. V Pardubicích vznikla první trolejbusová linka v roce 1952. [12] Obě tyto možnosti dopravy jsou ale ovlivňovány provozem, a proto se v některých městech snaží tento problém minimalizovat speciálními pruhy pro autobusy. Alternativou mohou být tramvaje, které mývají svoji tramvajovou dráhu a nejsou tolik ovlivňovány okolním provozem. Tramvaje se ale nachází pouze ve velkých městech. Dalším drážním vozidlem je metro. To není provozem ovlivňováno vůbec, jelikož jezdí pod zemským povrchem. Zastávek metra je ovšem méně a je často nutností přestoupit na výše zmíněný druh dopravy. Vybudování metra je ale značně nákladné, a tak ho v ČR nalezneme pouze v Praze. Výhodou MHD jsou nižší přepravní náklady, zejména po zakoupení permanentek. Nevýhodou mohou být časové prodlevy mezi jednotlivými spoji.

1.2.3 Taxislužba

Ve městech je také provozována taxislužba. Vozidla taxislužby mohou přepravovat osoby a jejich zavazadla, maximální počet pasažérů vozu je 9 osob včetně řidiče. Velkou výhodou taxislužby je stejná dosažitelnost cíle jako u osobní silniční dopravy. Jelikož není cestující řidičem vozidla, nemusí v cílové destinaci hledat parkovací místo. Nevýhodou může být čekací doba na příjezd taxislužby a vysoká cena přepravy v porovnání s MHD. [3 s. 106]

1.2.4 Osobní silniční doprava

„Silniční doprava je doprava, při níž se zajišťuje přemístování osob a věcí silničními vozidly (silničními dopravními prostředky), jakož i přemístování silničních vozidel samých po pozemních komunikacích, dopravních plochách a ve volném terénu.“ [4 s. 129]

Osobní silniční doprava je velice flexibilní, jelikož má řidič celou řadu tras, pomocí nichž se dopraví až k místu určení. To je největší výhodou individuální silniční dopravy, v porovnání s MHD. [2 s. 28] Nevýhoda nastává při dorážení do místa určení. Automobil je potřeba bezpečně zaparkovat a je nutné tak najít parkoviště. Ty bývají z velké většiny ve městech zpoplatněny. Osobní doprava se stává stále oblíbenější a komunikace i odstavná parkoviště ve městech už nestačí. V Praze, ale i jiných městech, se využívá takzvaných parkovišť P+R, Park + Ride (zaparkuj a jed'). Jsou to záchytná parkoviště, nacházející se na okraji měst, která jsou umístěna co nejbližší veřejné dopravě. Využívají je zejména motoristé, kteří nechtějí do měst zajíždět. [13]

„Sledovaným ukazatelem je obsazenost vozidel neboli průměrný počet osob ve vozidle. Pro Pardubice je tato hodnota 1,24 osoby na vozidlo. To je vzhledem k jeho kapacitě a prostoru, který zabírá, poměrně nízká hodnota. Pokud by v každém vozidle jeli alespoň dva lidé, mohlo by teoreticky po městě jezdit o třetinu vozidel méně. Ke zvyšování obsazenosti přispívá například tzv. carpooling neboli sdílení společných jízd. V praxi to může být například sdílená cesta do práce, kdy lidé společnou část cesty vykonávají jedním automobilem.“ [14]

V Pardubicích je nejvíce zatíženým místem ulice Hradecká. Za jediný den zde projede více než 25 000 automobilů. Většina vozidel projíždí v dopravní špičce, která je ráno od 7 do 9 hod. a odpoledne od 15 do 17 hod. [14]

Od 60. – 70. let 20. století se používání automobilu ve velké míře rozšířilo v západní Evropě, střední Evropa následovala v 80. – 90. letech. V poslední době se počet dopravních prostředků ve městech nesnižuje, naopak jich masivně přibývá a s nimi i nemalé problémy. [2 s. 70] Prvním z nich může být velikost vozidel, které svými rozměry zabírají velká parkovací místa. Vznikají tak veřejná parkoviště, parkovací domy atd. Dalším nedostatkem je obratnost vozidel, především poloměr otáčení, kdy pro jízdu po městských ulicích je vhodný co nejmenší poloměr otáčení. Například v Japonsku se proto využívají tzv. Kei cars

1.3 Kei cars

Jsou zmenšená vozidla navržená právě pro městský provoz. Tyto vozidla mají řadu specifik, například objem motoru je omezený na 0,66 l, výkon nejvýše 47 kW a délku maximálně 3400 mm. Výhodou je daňové zvýhodnění, nižší poplatky za pojištění nebo možnost parkovat prakticky všude. Jsou to tedy téměř ideální auta pro městský provoz. [15]

1.3.1 Daihatsu Copen

Daihatsu Copen (obrázek č. 2) je dvoumístný roadster. O pohon se stará v předu umístěný řadový čtyřválec s rozvodem DOHC o objemu 659 cm³ o výkonu 47 kW. Délka vozidla je 3395 mm a splňuje tak normy na vozidla Kei cars. Další technické parametry viz tabulka č. 1. [16]

Tabulka 1 – Technické parametry Daihatsu Copen [16]

Motor	Řadový čtyřválec, objem 659 cm ³ , výkon 47 kW
Převodovka	Pětistupňová
Hmotnost	830 kg
Maximální rychlost	170 km/h [17]
Počet míst k sezení	2
Pohon	Přední



Obrázek 2 – Daihatsu Copen [16]

1.3.2 Honda N-Box

Honda N-Box (obrázek č.3) je čtyřmístný automobil. S délkou 3395 mm je na hraně předpisů pro označení Kei cars. Na úkor délky je automobil poměrně dost vysoký a to 1800 mm. Motor je umístěn vpředu a výkon je stejný jako u Daihatsu Copen, tedy 47 kW. Nabízena je i slabší motorizace o výkonu 42,6 kW. Poháněna může být pouze přední náprava nebo všechna kola. Další technické parametry viz tabulka č. 2. [18]

Tabulka 2 – Technické parametry Honda N-Box [18]

Motor	Řadový tříválec, objem 658 cm ³ , výkon 47 kW
Převodovka	Automatická CVT
Hmotnost	980 kg
Maximální rychlost	139 km/h [19]
Počet míst k sezení	4
Pohon	Přední/4x4



Obrázek 3 – Honda N-Box [34]

1.3.3 Smart ForTwo

Evropskou odpovědí na vozidla Kei cars, se stal Smart ForTwo (obrázek č. 4), který přišel v roce 1998. Dvoumístný hatchback s délkou pouhých 2500 mm je tak ideálním městským automobilem. První generace měla řadový tříválec o objemu 599 cm³ přepřehovaný turbodmychadlem, který byl umístěn vzadu a poháněna byla zadní náprava. Další technické parametry viz tabulka č. 3. [20]

I přes své kompaktní rozměry si Smart zachoval poměrně vysokou bezpečnost. V roce 2000 získal v hodnocení EURO NCAP 3 hvězdičky. [21] V roce 2007 se bezpečnost vozu opět zvýšila, kdy dosáhl na 4 hvězdičky. [22]

Tabulka 3 – Technické parametry Smart ForTwo [20]

Motor	Řadový tříválec, objem 599 cm ³ , výkon 33 kW
Převodovka	Šestistupňová
Hmotnost	720 kg
Maximální rychlost	135 km/h
Počet míst k sezení	2
Pohon	Zadní



Obrázek 4 – Smart ForTwo [35]

1.3.4 Renault Twizy

Dalším Evropským modelem je Renault Twizy (obrázek č.5). Je to dvoumístný automobil jako Smart, pasažéři nesedí vedle sebe, ale za sebou. Automobil je díky tomu široký pouze 1234 mm. S délkou 2338 mm je i kratší než Smart Fortwo. Motor vozidla je umístěn vzadu a je jím elektromotor o výkonu 13 kW. Udávaný dojezd byl až 100 km na plně dobité akumulátory. Maximální rychlost vozidla je 80 km/h, což je pro městský provoz dostačující. Další technické parametry viz tabulka č. 4. [23]

Tabulka 4 – Technické parametry Renault Twizy [23]

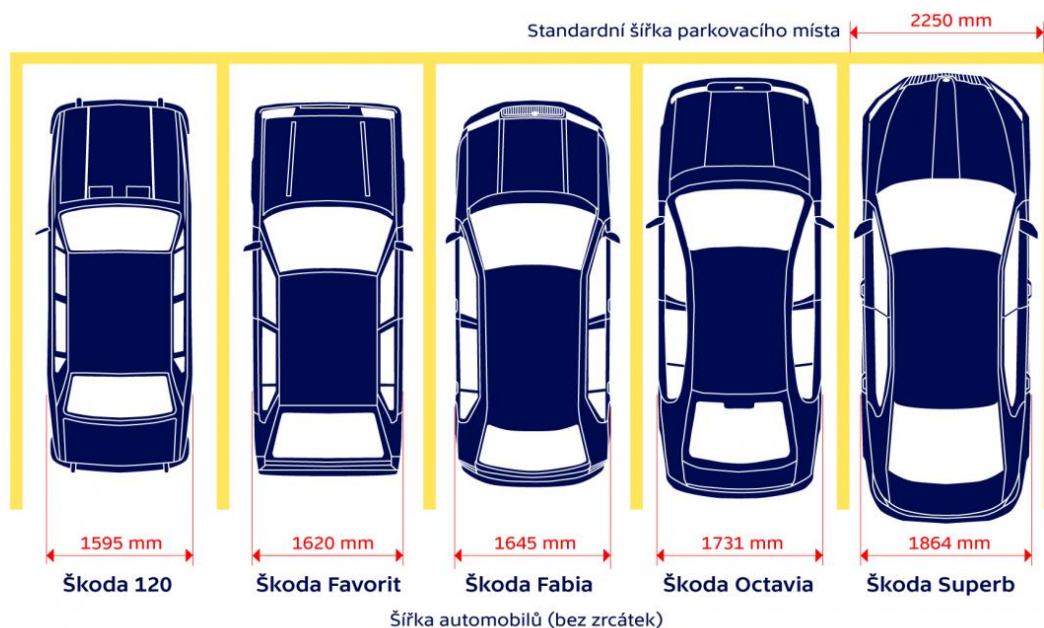
Motor	Elektromotor, výkon 13 kW
Převodovka	Automatická jednostupňová
Hmotnost	475 kg
Maximální rychlost	80 km/h
Počet míst k sezení	2
Pohon	Zadní



Obrázek 5 – Renault Twizy [36]

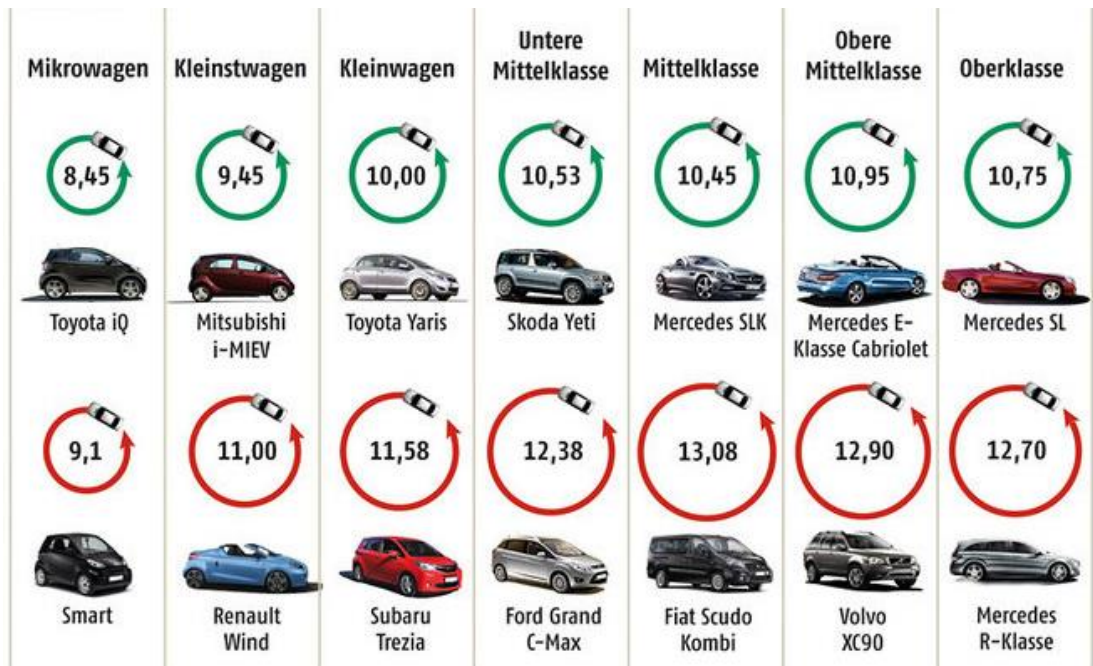
1.4 Nároky na vozidlo

Vozidla by měla mít co nejmenší rozměry z důvodu snadného parkování ve městě. Na rozdíl od narůstajících rozměrů dnešních automobilů, hlavně do šířky, se parkovací místa nezvětšují. Nástup a výstup cestujících je pak pro nedostatek místa pro otevření dveří obtížný. Pro názornost je tento problém zachycen na obrázku č. 6.



Obrázek 6 – Porovnání šířky automobilů a parkovacího místa [37]

Podle současně platné normy ČSN 73 6056 Odstavné a parkovací plochy silničních vozidel je šířka parkovacího stání 2500 mm a délka 5000 mm. [24] To ale platí pro nově vznikající parkovací místa. Ty starší zůstávají nezměněna. Dalším předpokladem je co nejmenší poloměr nebo také průměr otáčení. Záleží na konstrukčním provedení řídicí nápravy, úhlu natočení kol a rozvoru náprav. Proto malé auto nemusí mít vždy malý poloměr otáčení. To je znázorněno na obrázku č. 7, kde je na tom Smart ForTwo na své rozměry poměrně špatně. V úzkých uličkách a zejména parkovištích je malý poloměr otáčení žádoucí.



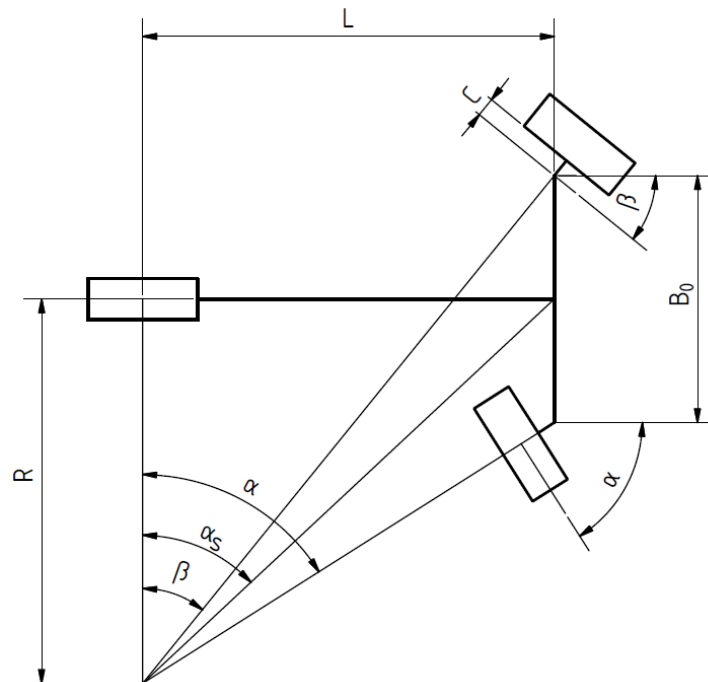
Obrázek 7 – Průměry otáčení vybraných automobilů [38]

V městském provozu se řidič rozjíždí častěji než mimo město. Spotřeba paliva je tak vyšší, proto je důležité snížit hmotnost vozidla a použít úsporné motory. Emisní normy se neustále zpřísňují, Evropská rada schválila přísnější emisní normu pro CO₂, kdy vozidla vyrobené v letech 2025-2029 budou muset snížit emise o 15 % a od roku 2030 chtějí snížit emise v průměru o 37,5 %. [25]

2 Návrh možných koncepcí třístopého vozidla

2.1 Koncepce dvě kola vpředu a jedno vzadu

U této koncepce jsou většinou řízena přední kola, ale může být i řízeno kolo zadní. Řízení zadního kola se u silničních vozidel téměř nevyskytuje, ale využívají ho například vysokozdvizné vozíky. Při řízení předních kol je třeba splnit Ackermannovu podmínku, kdy pro správné odvalování kol musí být vnitřní kolo natočeno o větší úhel než vnější kolo a střed otáčení vozidla musí ležet na prodloužené ose zadní nápravy, viz obrázek č. 8. Motor vozidla může být uložen v přední nebo zadní části vozu. Mohou být hnána přední kola nebo zadní kolo.



Obrázek 8 – Schéma řízení pro dvě kola vpředu

$$\cotg \alpha = \frac{R - \frac{B_0}{2}}{L} \quad (1)$$

$$\cotg \beta = \frac{R + \frac{B_0}{2}}{L} \quad (2)$$

$$\cotg \beta - \cotg \alpha = \frac{R + \frac{B_0}{2}}{L} - \frac{R - \frac{B_0}{2}}{L} = \frac{B_0}{L} = konst \quad (3)$$

$$\alpha_s = \frac{\alpha + \beta}{2} \quad (4)$$

$$R = L \cdot \cotg \alpha + \frac{B_0}{2} = L \cdot \cotg \beta - \frac{B_0}{2} \approx L \cdot \cotg \alpha_s \quad (5)$$

2.1.1 Motor vpředu, pohon předních kol

Motor uložený vpředu posune těžiště vozidla dopředu. Přední náprava tak bude více zatížena, a to se projeví kladně na jízdních vlastnostech, například větší stabilita při bočním větru, lepší rozjezd vozu, při menším obsazení. Vyšším zatížením přední nápravy ale vznikají větší síly v řízení, což může vést k nutnosti použití posilovače řízení. Pohon předních kol také zvyšuje bezpečnost na kluzkém povrchu, protože je vozidlo taženo, nikoliv tlačeno. [5 s. 23-24]

Výhody předního pohonu s motorem uloženým vpředu: [5 s. 25]

- Lepší trakční vlastnosti hnaných kol při nízkém zatížení (rozjezd vozu)
- Stabilita při bočním větru
- Vozidlo je taženo, vzniká stabilní stav
- Motor, převodovka a diferenciál jako jeden celek
- Větší zavazadlový prostor
- Jednoduchost zadní nápravy
- Lepší chlazení motoru

Nevýhody předního pohonu s motorem uloženým vpředu: [5 s. 26]

- Větší síly v řízení – použití posilovače řízení
- Složitější konstrukce přední nápravy
- Menší poloměr otáčení vozidla
- Větší opotřebení předních pneumatik, než zadních
- Horší trakce předních kol při velkém zatížení

Příkladem této koncepce je malý roadster z Velké Británie Berkeley T60 (obrázek č. 9). Poháněna jsou přední kola vzduchem chlazeným motocyklovým motorem, uloženým vpředu vozidla. Za předními sedadly se nachází prostor, který se dá využít jako další dvě místa pro děti nebo na zavazadla. Technické parametry viz tabulka č. 5. [26]

Tabulka 5 – Technické parametry Berkeley T60 [27]

Motor	Vzduchem chlazený dvoudobý dvouválec, objem 328 cm ³ , výkon 13 kW
Převodovka	Čtyřstupňová
Hmotnost	290 kg
Maximální rychlost	95 km/h
Počet míst k sezení	2 + 2 děti
Pohon	Přední



Obrázek 9 – Berkeley T60 [39]

2.1.2 Motor vpředu, pohon zadního kola

Motor uložený vpředu a poháněné zadní kolo (tzv. standardní pohon) může být proveden ve dvou konstrukcích. První možností je motor s převodovou skříní vpředu a rozvodovkou vzadu. Druhou variantou je motor uložený vpředu a rozvodovka s převodovkou vzadu. Tím se dá docílit lepšího rozložení hmotnosti na nápravy. [5 s. 27]

Výhody zadního pohonu s motorem uloženým vpředu: [5 s. 31]

- Stejné opotřebení pneumatik
- Jednodušší konstrukce přední nápravy
- Zatížení předních řízených kol
- Dobré odhlučnění motorového prostoru
- Lepší trakce zadního kola při plném zatížení
- Více místa pro řídicí ústrojí
- Lepší chlazení motoru

Nevýhody zadního pohonu s motorem uloženým vpředu: [5 s. 32]

- Vozidlo je tlačeno, vzniká labilní stav – namáhavější řízení, obtížné udržování přímého směru
- Při malém zatížení jsou horší trakční vlastnosti zadní nápravy
- V podlaze musí být vylisován tunel pro kloubový hřídel

Morgan (obrázek č. 10) je opět automobil anglické výroby, inspirovaný v tříkolkách od stejného výrobce, vyráběných ve 20. letech 20. století. Toto dvoumístné vozidlo bez dveří má motor uložený vpředu a poháněno je zadní kolo. Technické parametry viz tabulka č. 6. [27]

Tabulka 6 – Technické parametry Morgan 3 Wheeler [27]

Motor	Vzduchem chlazený vidlicový dvouválec, objem 1983 cm ³ , výkon 60 kW
Převodovka	Pětistupňová
Hmotnost	500 kg
Maximální rychlost	185 km/h
Počet míst k sezení	2
Pohon	Zadní



Obrázek 10 – Morgan 3 Wheeler [40]

2.1.3 Motor vzadu, pohon zadního kola

Motor je spolu s převodovkou a rozvodovkou uložen vzadu a pohání zadní kolo. [5 s. 32]

Výhody zadního pohonu s motorem uloženým vzadu: [5 s. 34]

- Dobré trakční vlastnosti nezávisle na zatížení
- Motor, převodovka a rozvodovka jako jeden celek
- Malé zatížení přední nápravy – malé síly na volantu
- Jednoduchá konstrukce přední nápravy
- Lepší rozdělení brzdných sil

Nevýhody zadního pohonu s motorem uloženým vzadu: [5 s. 33]

- Horší stabilita při bočním větru a při přímé jízdě
- Vozidlo je tlačeno, vzniká tak labilní stav
- Malý zavazadlový prostor
- Horší chlazení motoru
- Větší množství chladicí kapaliny, při umístění chladiče vpředu

Tuto koncepci používá tříkolka Velorex (obrázek č. 11), vyvinutá v 50. letech 20. století v Československu. Motor byl umístěn před zadní nápravou a poháněl zadní kolo. Jeho objem byl 249 cm^3 , poskytoval výkon $6,6 \text{ kW}$ a dosahoval maximální rychlosti 60 km/h . Rám byl svařovaný z trubkových profilů a potažen kůží. Dnes je Velorex již sběratelskou záležitostí. Technické parametry viz tabulka č. 7. [28]

Tabulka 7 – Technické parametry Velorex [28]

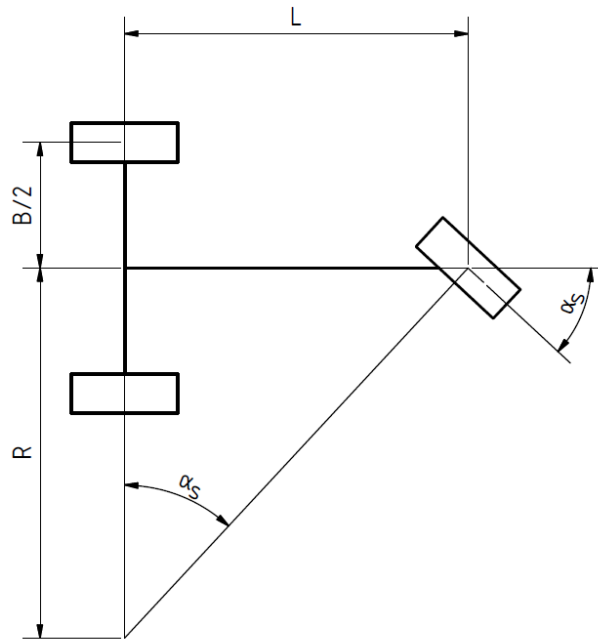
Motor	Vzduchem chlazený dvoudobý jednoválec, objem 249 cm^3 , výkon $6,6 \text{ kW}$
Převodovka	Čtyřstupňová
Hmotnost	205 kg
Maximální rychlost	60 km/h
Počet míst k sezení	2
Pohon	Zadní



Obrázek 11 - Velorex [41]

2.2 Dvě kola vzadu a jedno vpředu

Této koncepcce využívaly první vyrobené tříkolky na světě. Výhodou byly malé síly v řízení a snadná konstrukce. Pro řízení se dá použít volant nebo také řídítka, protože konstrukce je velmi podobná té motocyklové. Například TukTuk používá právě řídítka. S řízeným předním kolem se dá také docílit velmi malého poloměru otáčení a Ackermannova podmínka je vždy splněna, viz obrázek č. 12.



Obrázek 12 – Schéma řízení pro jedno kolo vpředu

2.2.1 Motor vpředu a pohon zadních kol

Motor uložený vpředu posune těžiště dopředu a vozidlo se tak stane nestabilním při zatáčení. Proto tato koncepce není moc využívána. Výhodou může být větší zavazadlový prostor a více míst k sezení.

Výhody pohonu zadních kol s motorem vpředu:

- Větší zavazadlový prostor, popř. více míst k sezení
- Stejné opotřebení pneumatik
- Lepší chlazení motoru

Nevýhody pohonu zadních kol s motorem vpředu:

- Vozidlo je tlačeno, vzniká labilní stav – namáhavější řízení, obtížné udržování přímého směru
- Při malém zatížení jsou horší trakční vlastnosti zadní nápravy
- V podlaze musí být vylisován tunel pro kloubový hřídel
- Řízení je složitější než u koncepce s pohonem zadních kol a motorem vzadu

Příkladem koncepce tříkolky s motorem vpředu a pohonem zadních kol je Reliant Robin (obrázek č. 13). Robin byl představen v roce 1973 a stal se nejznámějším anglickým tříkolovým vozidlem. Díky této konstrukci s motorem vpředu mohl mít Robin 4 místa pro cestující a vzadu vozidla malý zavazadlový prostor. Je ovšem všeobecně známo, že byl vůz velmi nestabilní, zejména v zatáčkách. Technické parametry viz tabulka č. 8. [29]

Tabulka 8 – Technické parametry Reliant Robin [29]

Motor	Řadový čtyřválec s rozvodem OHV, objem 748 cm ³ , výkon 23 kW
Převodovka	Čtyřstupňová
Hmotnost	450 kg [30]
Maximální rychlost	117 km/h
Počet míst k sezení	4
Pohon	Zadní



Obrázek 13 – Reliant Robin [42]

2.2.2 Motor vzadu a pohon zadních kol

Motor uložený vzadu s pohonem zadních kol je využívanější než předchozí možnost. Jelikož je těžiště blíže k zádi vozidla, stává se tak stabilnějším.

Výhody pohonu zadních kol s motorem vzadu:

- Motor, převodovka a diferenciál jako jeden celek
- Malé síly v řízení
- Možnost použití řídítek
- Větší stabilita vozidla

Nevýhody pohonu zadních kol s motorem vzadu:

- Menší zavazadlový prostor
- Vozidlo je tlačeno, vzniká labilní stav – namáhavější řízení, obtížné udržování přímého směru
- Obtížnější chlazení motoru

Motor vzadu a poháněná zadní kola používá tříkolka Streamer (obrázek č. 14) od výrobce Thunderbolt, sídlícího na Moravě. Tříkolka využívá motory Škoda 1.6 MPI nebo 1.3 MPI. Přední část je shodná s motocykly, i zde se využívá řídítek. Technické parametry viz tabulka č. 9. [31] [32]

Tabulka 9 – Technické parametry Thunderbolt Streamer [31][32]

Motor	Škoda 1.6 MPI, výkon 75 kW
Převodovka	Pětistupňová
Hmotnost	560 kg
Maximální rychlost	140 km/h (doporučená 100 km/h)
Počet míst k sezení	2
Pohon	Zadní



Obrázek 14 – Thunderbolt Streamer [43]

3 Volba nejvhodnější koncepce pro návrh vozidla

Výše uvedené koncepce mají svá pro a proti. Vzhledem k nárokům, jaké jsou kladeny na městské vozidlo, je třeba vybrat tu nejvhodnější. Abych docílil co nejlepšího poloměru otáčení, zvolil jsem koncepci dvě kola vzadu a jedno vpředu. Konstrukce předního zavěšení tak bude jednodušší, Ackermannova podmínka je při této koncepci vždy splněna.

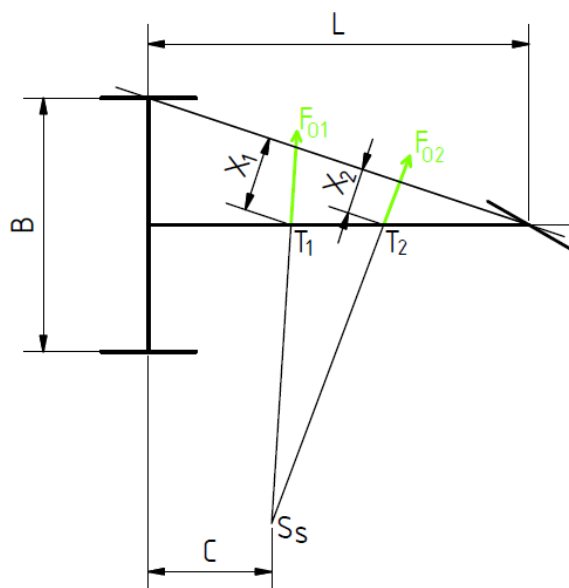
Poloměr otáčení jsem ověřoval výpočtem, kdy jsem kontroloval úhel natočení předního kola (viz obrázek č. 12). Z hlediska zachování stability vozidla není žádoucí, aby úhel natočení předních kol byl vyšší než 40° . Proto jsem uvažoval jako maximální úhel natočení předního kola $\alpha_s = 35^\circ$. Při tomto úhlu natočení předního kola je poloměr otáčení vozidla $R = 3,21 \text{ m}$, viz výpočet níže. To je například ve srovnání s Toyotou iQ o $1,015 \text{ m}$ méně. Rozvor náprav potřebný ve výpočtu je 2250 mm viz obrázek č. 19. Poloměry otáčení pro vybrané úhly jsou uvedeny v tabulce č. 10.

$$R = L \cdot \cotg \alpha_s = 2,25 \cdot \cotg 35^\circ \doteq 3,21 \text{ m} \quad (6)$$

Tabulka 10 – Poloměry otáčení vozidla při daném úhlu natočení předního kola

R	α_s
8,40	15°
6,18	20°
4,83	25°
3,90	30°
3,21	35°

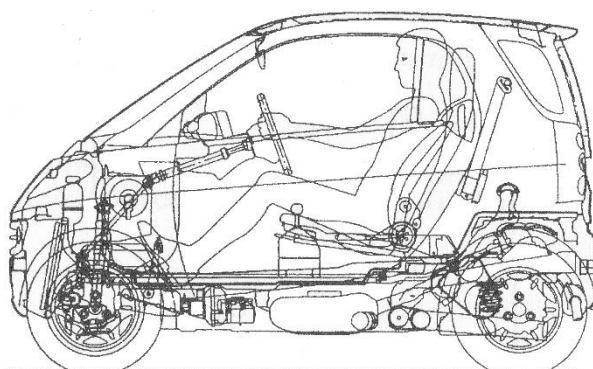
Abych docílil vyšší stability a menšího rizika proti převrácení vozidla s koncepcí dvě kola vzadu a jedno vpředu, zvolil jsem umístění motoru vzadu. Tím dojde k posunutí celkového těžiště (T_1) vozidla dozadu. Reálný střed otáčení S_s je posunutý o vzdálenost c . Na spojnici tohoto středu a těžiště vozidla leží odstředivá síla F_{o1} . Pro motor umístěný vpředu by platilo těžiště T_2 , síla F_{o2} a rameno x_2 . Jelikož je rameno x_1 větší než rameno x_2 , bezpečnost proti převrácení vozidla je vyšší s motorem umístěným vzadu. Vzdálenost L je rozvor náprav a písmenem B je značen rozchod zadních kol. Tento problém je zachycen na schématu níže (obrázek č. 15).



Obrázek 15 – Schéma vlivu polohy těžiště na stabilitu vozidla

Motor vozidla se dá vzadu umístit podobně jako u Velorexu, tedy před zadní nápravu. Já jsem ale z důvodu vnitřních rozměrů automobilu zvolil umístění motoru pod zavazadlový prostor a zadní sedačky. Stejné umístění motoru používá i Smart ForTwo. Docílí se tak níže ležícího těžiště vozidla, což se kladně projeví na stabilitě a ovladatelnosti vozidla. Vzadu umístěný motor také posouvá těžiště dozadu a odlehčuje se tak přední kolo, což zlepšuje ovladatelnost a nejsou třeba tak velké řídicí síly. [6 s. 10]

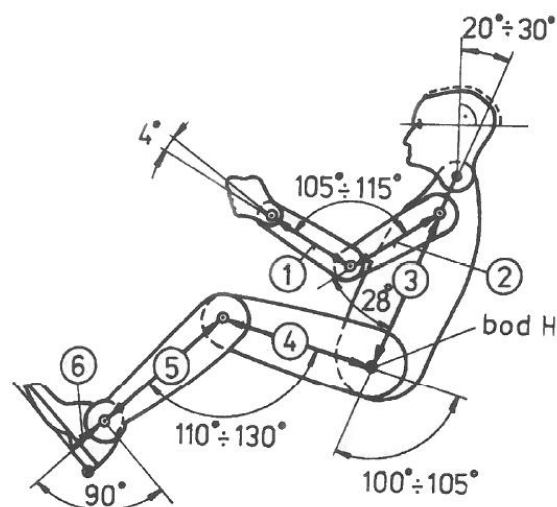
Motor jsem volil stejný jako je použit ve Smartu ForTwo. Zvolil jsem ho právě pro jeho kompaktnost a vhodnost do zvolené koncepce. Je to benzinový přeplňovaný tříválec o výkonu 73 kW, další parametry jsou uvedeny v tabulce č. 12. Pro názornost umístění motoru uvádím schéma konstrukce Smartu ForTwo (obrázek č. 16).



Obrázek 16 – Schéma konstrukce Smart ForTwo [7 s. 41]

Dvě místa k sezení považuji jako dnešní nutnost, nabízí se ovšem dvě možnosti. Pasážéři mohou sedět vedle sebe nebo za sebou. První možnost zkrátí délku vozidla a druhá možnost zase zmenší šířku vozidla. Já jsem zvolil možnost sezení za sebou, kdy sedadlo řidiče je umístěno uprostřed vpředu. Toto řešení usnadňuje nasedání pasažérů na zadní sedadlo, které je navrženo tak, že pojme dvě děti nebo jednu dospělou osobu. To se kladně projevuje na šířce automobilu, která je tak 1340 mm . Další základní rozměry viz obrázek č. 19. Bezpečnostní pásy na zadních sedadlech bych řešil jako dva tříbodové pásy, kotvené do rámu vozidla, pro dětské pasažéry. Pro dospělou osobu by zde byl třetí, dvoubodový pás. Bezpečnostní pás na přední sedačce bych volil tříbodový, kotvený přímo v sedačce. Jako rám vozidla bych volil trubkový příhradový rám s oplechováním.

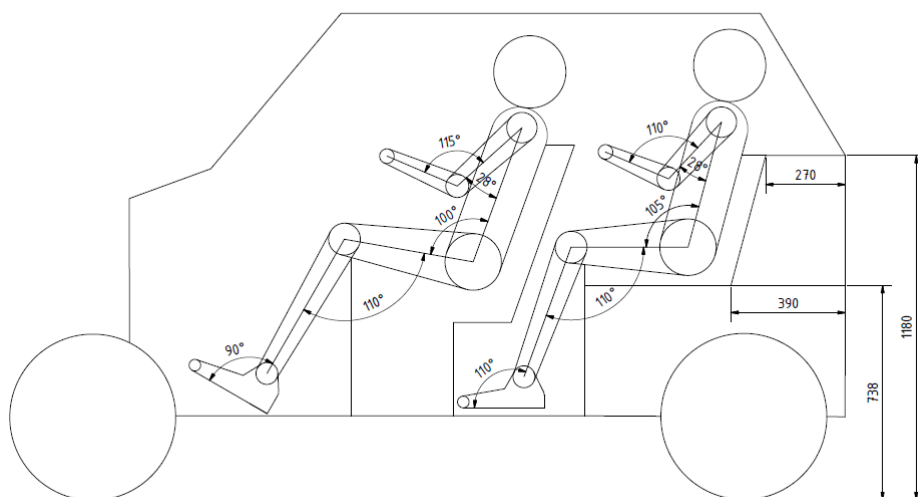
Rozměry jsem navrhoval pomocí norem VDI 2780 a SAE J833a znázorněných na obrázku č. 17 a v tabulce č.11. Pro přední sedadlo jsem použil rozměry 95 % muž. Na zadní sedadlo jsem zvolil menší rozměry, a to 50 % člověk. [7 s. 219] Úhly jednotlivých částí těla jsem volil tak, aby byly v normě pro co nejlepší komfort cestujících, ale zároveň abych dosáhl co nejkratší délky vozidla. Délka vozidla bez předního kola je tak 2603 mm (2997 mm s předním kolem). V porovnání se Smartem ForTwo je to o 103 mm více, ale na rozdíl od Smartu jsou zde tři místa k sezení. Za zadními sedadly je umístěn malý zavazadlový prostor. Jeho rozměry, zejména výška, jsou ovlivněny motorem umístěným vzadu. Na 3D modelu (obrázek č. 20) a pomocí schématu vnitřního rozmístění (obrázek č. 18) jsem změřil přibližné rozměry a vypočetl objem 146 l . To je sice o 74 l méně v porovnání se Smartem ForTwo, ale Smart nenabízí sklopení zadních sedaček. Po sklopení zadní sedačky se tento prostor výrazně zvětší, a to na objem 412 l . Pro městský a příměstský provoz je tento zavazadlový prostor plně dostačující. [33]



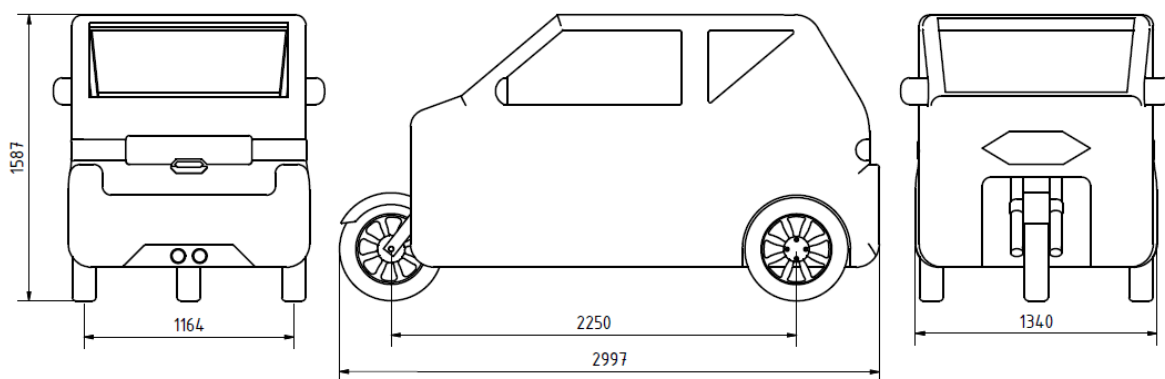
Obrázek 17 – Schéma figuríny dle doporučení SAE J833a a normy VDI 2780 [7 s. 219]

Tabulka 11 – Rozměry figuríny dle doporučení SAE J833a a normy VDI 2780 [7 s. 219]

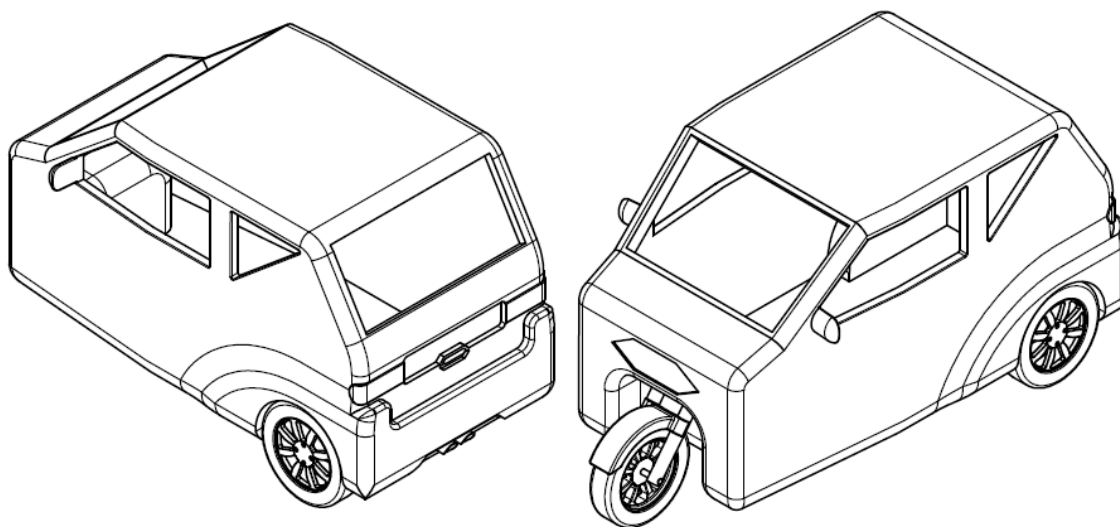
rozměr (mm)	5 % žena	50 % člověk	95 % muž
1	210	237	264
2	236	268	301
3	401	447	493
4	357	404	452
5	418	476	535
6	102	107	120
výška	1500	1650	1849



Obrázek 18 – Schéma vnitřního rozložení navrženého vozidla



Obrázek 19 – Základní rozměry navrženého vozidla



Obrázek 20 – Jednoduchý 3D model navrženého vozidla

4 Zpracování vybraných trakčních vlastností navrženého vozidla

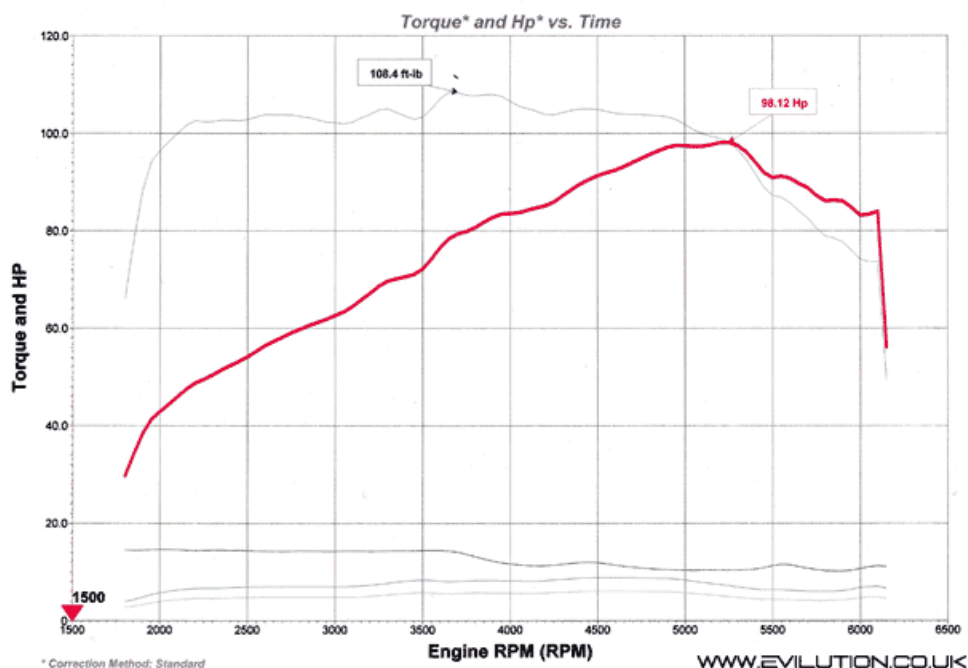
V následujících podkapitolách jsem se zaměřil na vybrané trakční vlastnosti navrženého vozidla. Pro výpočty jednotlivých odporů, působících na vozidlo, je třeba znát určité parametry. Většinu parametrů jsem dohledal anebo zvolil. Tyto parametry jsou uvedeny v následující podkapitole. Veškeré výpočty jsou prováděny dle předmětu Mechanika pohybu silničních vozidel.

4.1 Parametry vozidla

Vzhledem k rozměrům vozidla, předpokládaným použitým materiálům a zvolených koncepčních provedení je odhadovaná hmotnost vozidla do 750 kg. Proto budu tuto hodnotu využívat pro tvorbu trakčního diagramu. Další potřebné parametry, jako převodové poměry, jsou uvedeny v tabulce č. 12. Pro zvolený motor, ze Smartu ForTwo, jsem dohledal vnější charakteristiku motoru, zaznamenanou na obrázku č. 21.

Tabulka 12 – Parametry navrženého vozidla [44,45]

Technické parametry	
Hmotnost	750 kg
Maximální výkon	73 kW/5500 ot/min
Maximální kroutící moment	140 Nm/3500 ot/min
Typ převodovky	Manuální
Počet převodů	5
Převodové poměry	
1. rychlostní stupeň	14,982 / 3,308:1
2. rychlostní stupeň	8,664 / 1,913:1
3. rychlostní stupeň	5,697 / 1,258:1
4. rychlostní stupeň	4,271 / 0,943:1
5. rychlostní stupeň	3,456 / 0,763:1
Zpátečka	14,633 / 3,231:1
Finální	4,529



Obrázek 21 – Charakteristika zvoleného motoru z vozidla Smart ForTwo [46]

Z charakteristiky motoru jsem odečetl 9 hodnot výkonu a momentu motoru, v rozmezí otáček 2000 *ot/min* po 6000 *ot/min*. Tyto hodnoty jsou potřeba pro další tvorbu trakčního diagramu, proto jsou všechny uvedeny v následující tabulce č. 13.

Tabulka 13 – Charakteristika motoru

Charakteristika motoru	
2000 <i>ot/min</i>	130,6 Nm / 31,7 kW / 42,5 hp
2500 <i>ot/min</i>	139,0 Nm / 40,3 kW / 54,0 hp
3000 <i>ot/min</i>	138,3 Nm / 46,6 kW / 62,5 hp
3500 <i>ot/min</i>	139,7 Nm / 54,1 kW / 72,5 hp
4000 <i>ot/min</i>	144,1 Nm / 62,0 kW / 83,0 hp
4500 <i>ot/min</i>	142,4 Nm / 68,3 kW / 91,5 hp
5000 <i>ot/min</i>	138,3 Nm / 70,9 kW / 95,0 hp
5500 <i>ot/min</i>	132,2 Nm / 68,3 kW / 91,5 hp
6000 <i>ot/min</i>	100,3 Nm / 61,2 kW / 82,0 hp

4.2 Výpočet odporů

Výpočty jsem prováděl v programu Microsoft Excel, budu tedy uvádět vždy vzorový výpočet pro vybranou situaci a všechny výsledné hodnoty budou uvedeny v příslušných tabulkách či grafech.

4.2.1 Výpočet čelní plochy vozidla

K výpočtu odporu vzduchu je nutné znát čelní plochu vozidla. Její přibližná hodnota se dá zjistit výpočtem, a to součinem výšky vozidla a rozchodu kol. Přesnější hodnotu lze zjistit pomocí projekce na stěnu, viz obrázek č. 22. Další možností je změření plochy pomocí počítače. Já jsem v tomto případě použil program Autodesk Inventor a na 3D modelu změřil plochu $S_c=1,82 \text{ m}^2$. Pro srovnání uvedu ještě přibližný výpočet.

$$S_c = B \cdot H = 1,16 \cdot 1,59 \doteq 1,84 \text{ m}^2 \quad (7)$$



Obrázek 22 – Výpočet čelní plochy vozidla pomocí projekce [8 s. 27]

Pro další výpočty budu používat přesnější hodnotu z programu Autodesk Inventor, tedy $S_c=1,82 \text{ m}^2$.

Tabulka 14 – Hodnoty součinitele odporů vzduchu a čelních ploch vozidel [8 s. 29]

Typ vozidla	C_x [1]	S_x [m^2]
osobní automobily	0,3 – 0,4	1,6 – 2,0
sportovní vozy	0,3 – 0,35	1,3 – 1,6
závodní vozy – nekrytá kola	0,4 – 0,6	0,7 – 1,3
závodní vozy – krytá kola	0,25 – 0,35	0,8 – 1,5
nákladní vozy – valník	0,8 – 1,0	4 – 7
nákladní vozy – s přívěsem	1,0 – 1,2	5 – 8
autobusy	0,5 – 0,7	5 – 7

4.2.2 Výpočet odporu vzduchu

„Při jízdě vozidla proudí část vzduchu kolem horní části karosérie a část se musí protlačit prostorem mezi spodní částí vozidla a povrchem vozovky. Proudnice se za vozidlem neuzavírají, ale nastává víření.“ [8 s. 25]

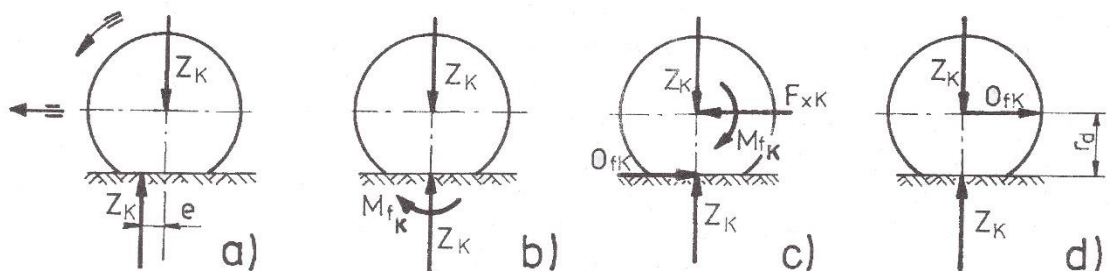
Odpor vzduchu se nejvíce projevuje ve vysokých rychlostech, protože jeho hodnota roste s kvadrátem rychlosti vozidla. Dále záleží na čelní ploše vozidla, součiniteli odporu vzduchu (pro jednotlivé typy vozidel viz tabulka č. 14) a hustotě vzduchu. Pro vzorový výpočet jsem zvolil maximální povolenou rychlost v ČR a to 130 km/h. Pro tvorbu trakčního diagramu jsem spočítal odpor vzduchu pro rychlosti v rozmezí 0-200 km/h. Součinitel odporu vzduchu jsem zvolil průměrnou hodnotu $c_x = 0,35$, která je už v dnešní době poměrně vysoká. Hustotu vzduchu jsem volil 1,24 kg/m³.

$$F_v = \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot S_{\xi} \cdot c_x \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,24 \cdot 1,82 \cdot 0,35 \cdot \left(\frac{130}{3,6}\right)^2 \doteq 515N \quad (8)$$

4.2.3 Výpočet odporu valení

„Odpor valivý vzniká deformací pneumatiky a vozovky. Je-li vozovka tuhá, pak dochází jen k deformaci pneumatiky.“ [8 s. 21]

Radiální reakce pneumatiky Z_k je posunuta o rameno e ve směru jízdy. Vzniká tak moment M_{fk} , který působí proti směru otáčení kola, viz obrázek č. 23. [8 s. 21]



Obrázek 23 – Schéma momentu odporu valení M_{fk} [8 s. 22]

Tabulka 15 – Součinitele valivého odporu pro různé typy povrchu [8 s. 23]

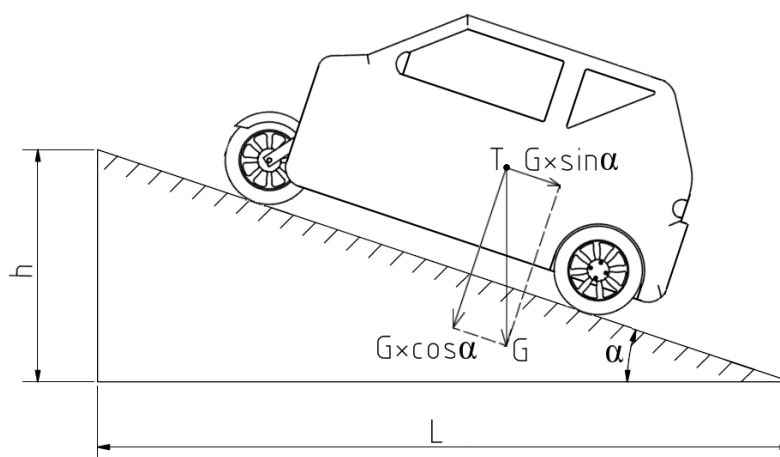
Povrch	f_k	Povrch	f_k
asfalt	0,01 – 0,02	travnatý terén	0,08 – 0,15
beton	0,015 – 0,025	hluboký písek	0,15 – 0,30
dlažba	0,02 – 0,03	čerstvý sníh	0,20 – 0,30
makadam	0,03 – 0,04	bahnitá půda	0,20 – 0,40
polní cesta – suchá	0,04 – 0,15	náledí	0,01 – 0,025
polní cesta – mokrá	0,08 – 0,20		

Odpor valení je největší na rovině (0 % stoupání), protože radiální reakce Z_k je maximální, proto jako vzorový výpočet volím tuto možnost. Pro tvorbu trakčního diagramu počítáno do 100 % stoupání. Pro výpočet volím součinitel odporu valní opět průměrnou hodnotu $f = 0,015$ viz tabulka č. 15.

$$F_f = m \cdot g \cdot (f \cdot \cos \alpha) = 750 \cdot 9,81 \cdot (0,015 \cdot \cos 0) \doteq 110N \quad (9)$$

4.2.4 Odpor stoupání

Odpor stoupání je složka síly, vyvolaná tíhou vozidla, ležící rovnoběžně s vozovkou, viz obrázek č. 24. Větší stoupání tedy znamená vyšší odpor stoupání. Při jízdě do svahu je tato síla odporem a v rovnici se používá znaménko plus. Při jízdě ze svahu již složka síly není odporem a automobil pohání, proto znaménko mínus. [8 s. 31]



Obrázek 24 – Schéma odporu stoupání

Jako vzorovou hodnotu volím stoupání 10 %. Pro tvorbu trakčního diagramu jsem opět počítal se stoupáním do 100 %. 10 % stoupání odpovídá úhel $5,71^\circ$ viz výpočet.

$$\alpha = \arctg 0,1 \doteq 5,71^\circ \quad (10)$$

$$F_s = m \cdot g \cdot \sin \alpha = 750 \cdot 9,81 \cdot \sin 5,71 \doteq 641N \quad (11)$$

4.3 Výpočet trakční síly

Z vnější charakteristiky spalovacího motoru viz obrázek č. 21 jsem odečetl 9 hodnot. Příslušné momenty, výkony motoru a otáčky jsou uvedeny v tabulce č. 13. Celkové převodové poměry jsou uvedeny v tabulce č. 12. Mechanickou účinnost převodu volím $\eta = 0,98$.

4.3.1 Výpočet dynamického poloměru

Na jiném vozidle jsem změřil pro 13-ti palcová kola, které jsem taktéž volil, statický poloměr $r_s = 28,6 \text{ cm}$. Pro výpočet je ale potřeba poloměr dynamický. Proto tedy použiji teoretický vztah, kde se statický poloměr násobí konstantou 1,03.

$$r_d = r_s \cdot 1,03 = 0,286 \cdot 1,03 \doteq 0,295 \text{ m} \quad (12)$$

4.3.2 Výpočet trakční síly vozidla

Trakční sílu jsem vypočetl pomocí momentů motoru, uvedené v tabulce č. 13, pro jednotlivé rychlostní stupně. Jako vzorový výpočet jsem vybral moment motoru při 2000 *ot/min* na 4. rychlostní stupeň ($i_{c4} = 4,271$). Další vypočtené hodnoty viz tabulka č. 16.

$$F_{t1}^{IV} = \frac{M_{m1} \cdot i_{c4} \cdot \eta}{r_d} = \frac{130,6 \cdot 4,271 \cdot 0,98}{0,295} \doteq 1853N \quad (13)$$

Tabulka 16 – Hodnoty trakčních sil vozidla pro jednotlivé rychlostní stupně

Rychlostní stupně/Síla [N]	1. rychlostní stupeň	2. rychlostní stupeň	3. rychlostní stupeň	4. rychlostní stupeň	5. rychlostní stupeň
<i>F_{t1}</i>	6498	3758	2471	1853	1499
<i>F_{t2}</i>	6917	4000	2630	1972	1596
<i>F_{t3}</i>	6883	3980	2617	1962	1588
<i>F_{t4}</i>	6950	4019	2643	1981	1603
<i>F_{t5}</i>	7173	4148	2728	2045	1655
<i>F_{t6}</i>	7085	4097	2694	2020	1634
<i>F_{t7}</i>	6883	3980	2617	1962	1588
<i>F_{t8}</i>	6579	3805	2502	1876	1518
<i>F_{t9}</i>	4994	2888	1899	1424	1152

4.3.3 Výpočet rychlosti vozidla

Při výpočtu rychlosti jsem pro ukázkou zvolil stejné hodnoty jako ve výpočtu trakční síly. Otáčky motoru 2000 *ot/min* na 4. rychlostní stupeň, jehož celkový převodový poměr je $i_{c4} = 4,271$. Další vypočtené hodnoty viz tabulka č. 17.

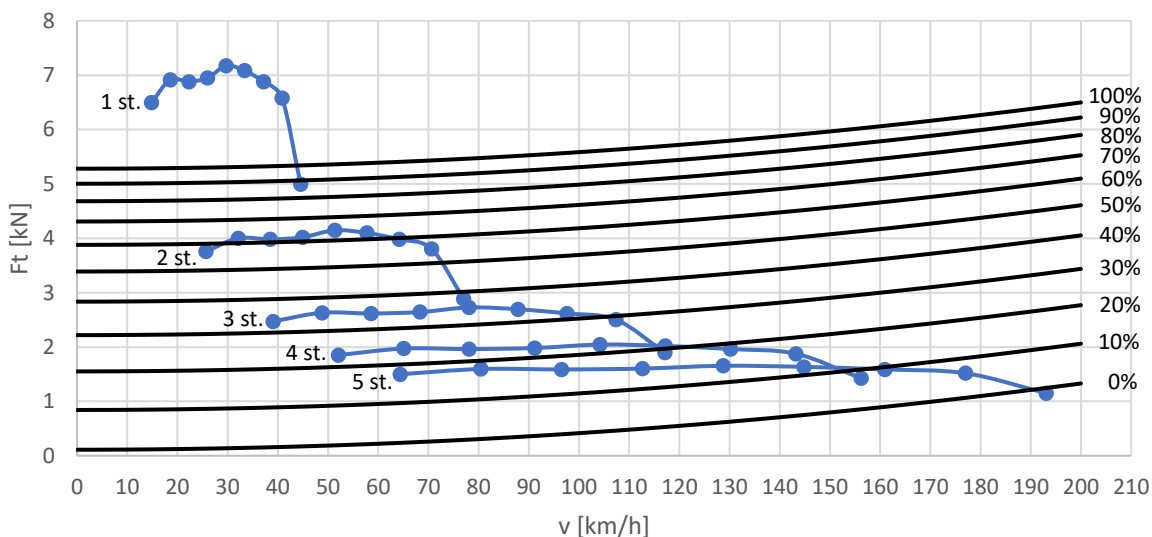
$$v_1^{IV} = \frac{0,377 \cdot r_d \cdot n_1}{i_{c4}} = \frac{0,377 \cdot 0,295 \cdot 2000}{4,271} \doteq 52,08 \text{ km/h} \quad (14)$$

Tabulka 17 – Hodnoty rychlostí vozidla pro jednotlivé rychlostní stupně

Rychlostní stupně/Rychlost	1. rychlostní stupeň	2. rychlostní stupeň	3. rychlostní stupeň	4. rychlostní stupeň	5. rychlostní stupeň
<i>v1</i>	14,85	25,67	39,04	52,08	64,36
<i>v2</i>	18,56	32,09	48,80	65,10	80,45
<i>v3</i>	22,27	38,51	58,57	78,12	96,54
<i>v4</i>	25,98	44,93	68,33	91,14	112,63
<i>v5</i>	29,69	51,35	78,09	104,16	128,72
<i>v6</i>	33,40	57,76	87,85	117,18	144,81
<i>v7</i>	37,12	64,18	97,61	130,20	160,90
<i>v8</i>	40,83	70,60	107,37	143,22	176,99
<i>v9</i>	44,50	77,00	117,10	156,20	193,10

4.4 Trakční diagram

Trakční diagram, viz obrázek č. 25, je tzv. hnací charakteristika vozidla. Vykreslují se do něj křivky jednotlivých odporů (valivý, vzdušný, stoupání), dále křivky hnací síly, které jsou vypočteny z vnější charakteristiky motoru. Ty jsou vyneseny pro jednotlivé rychlostní stupně.



Obrázek 25 – Trakční diagram navrženého vozidla

4.4.1 Maximální rychlost vozidla na jednotlivé rychlostní stupně

Maximální rychlosti pro jednotlivé rychlostní stupně uvažují pro jízdu na rovině, tedy pro 0 % stoupání. Odpor stoupání je nulový a působí zde odpor valení a odpor vzduchu. V grafu (obrázek č. 25) se první čtyři rychlostní stupně neprotínají s 0 % křivkou, a proto vezmu maximální rychlosti pro tyto stupně. U 5. rychlostního stupně už je vidět, že se protíná s 0 % křivkou při rychlosti 190 km/h. To je teoreticky maximální rychlost vozidla při jízdě po rovině. Tato hodnota by se mohla zvětšit jízdou ze svahu. Ostatní maximální rychlosti pro jednotlivé rychlostní stupně jsou uvedeny v tabulce č. 18.

Tabulka 18 – Maximální rychlosti na jednotlivé rychlostní stupně

Rychlostní stupeň	Maximální rychlost [km/h]
1	44,54
2	77,02
3	117,13
4	156,24
5	190,00

4.4.2 Maximální stoupavost na jednotlivé rychlostní stupně

Maximální stoupavost jsem opět odečítal z trakčního diagramu. Hledal jsem vždy maximum jednotlivých rychlostních stupňů a odečetl největší stoupání. Odečtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 19, ale některé hodnoty mohou být nereálné z hlediska přenesení trakční síly na vozovku. Například již první rychlostní stupeň je výše než 100 % stoupání. Proto není v tabulce tato hodnota uvedena.

Tabulka 19 – Maximální hodnoty stoupání na jednotlivé rychlostní stupně

Rychlostní stupeň	Stoupání [%]
1	-
2	63,7
3	35,0
4	24,0
5	17,6

4.4.3 Přebytek hnací síly

Přebytek hnací síly může být využit například pro tažení přívěsu nebo k akceleraci vozidla. První možnost nebudu uvažovat, protože se jedná o městské vozidlo. Zrychlení jsem počítal pro vybrané rychlosti vozidla a zařazené rychlostní stupně. Jako vzorový výpočet volím akceleraci z rychlosti 30 km/h na 2. rychlostní stupeň. Ostatní hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 21. Nejdřív je ale třeba znát součinitel vlivu rotujících hmot. Jako vzorový příklad jsem vybral výpočet pro 2. rychlostní stupeň, hodnoty pro zbylé rychlostní stupně jsou uvedeny v tabulce č. 20.

$$\vartheta_2 = 1,03 + 0,05 \cdot i_{k2}^2 = 1,03 + 0,05 \cdot 1,913^2 \doteq 1,21 \quad (15)$$

Tabulka 20 – Součinitele vlivu rotujících hmot pro jednotlivé rychlostní stupně

Rychlostní stupeň	Součinitel vlivu rotujících hmot ϑ
1	1,58
2	1,21
3	1,11
4	1,07
5	1,06

$$F_i = m \cdot a_1 \cdot \vartheta_2 \quad (16)$$

$$F_{p1} = F_{t2} - F_{v30} \quad (17)$$

$$F_{p1} = F_i \quad (18)$$

$$a_1 = \frac{F_{p1}}{m \cdot \vartheta_2} = \frac{F_{t2} - F_{v30}}{m \cdot \vartheta_2} = \frac{4000 - 138}{750 \cdot 1,21} \doteq 4,25 \text{ m/s}^2 \quad (19)$$

Tabulka 21 – Využití přebytku hnací síly na akceleraci vozidla

Rychlostní stupeň	Rychlost vozidla [km/h]	Přebytek hnací síly [N]	Výsledné zrychlení [m/s ²]
2	30	3862	4,25
2	60	3877	4,26
3	60	2397	2,88
3	90	2337	2,81
4	90	1624	2,02
5	90	1231	1,55
5	130	1029	1,30

Zhodnocení a závěr

Cílem této práce byl ideový návrh třístopého městského vozidla. Já jsem se z vybraných městských nároků na vozidlo rozhodoval, jakou koncepci vozidla zvolit. Mým cílem byl co nejlepší poloměr otáčení, z důvodu manévrovatelnosti v městských prostorech. To splňovala koncepce s jedním kolem vpředu, která je také navíc konstrukčně jednodušší, jelikož se přední zavěšení podobá motocyklovému. Následně pro dosažení lepší stability a menšímu riziku k převrácení, jsem volil umístění motoru vzadu pod zavazadlovým prostorem a zadní sedačkou. Motor jsem volil stejný, jako je použit ve Smartu ForTwo, jelikož je vhodný pro tuto koncepci. V rozmístění pasažérů ve vozidle jsem se rozhodoval mezi uspořádáním cestujících vedle sebe nebo za sebou. Zvolil jsem možnost sezení za sebou, což se kladně projevilo na šířce vozidla, která je tak 1340 mm. Na zadním sedadle mohou sedět dvě děti nebo jeden dospělý pasažér. Vnitřní rozměry vozidla jsem navrhoval dle norem VDI 2780 a SAE J833a, kdy pro řidiče vozidla jsem volil rozměry 95 % muž a pro spolujezdce 50 % člověk. V závěru práce jsem se věnoval vybraným trakčním vlastnostem navrženého vozidla. Ke zvolenému motoru jsem dohledal jeho charakteristiku a z jejího průběhu jsem odečetl výkonnostní parametry pro zvolené otáčky motoru. Převodové poměry jsou taktéž stejné jako u Smartu. Hmotnost vozidla jsem vzhledem k použité koncepci a rozměrům odhadoval do 750 kg. Nejdříve jsem počítal vybrané odpory působící na vozidlo, pomocí kterých jsem pak tvořil trakční diagram. Z diagramu jsem poté vyhodnocoval například maximální rychlosti na jednotlivé rychlostní stupně. Pro jízdu na rovině je maximální rychlost vozidla na 5. rychlostní stupeň 190 km/h. Taktéž jsem z diagramu odečítal maximální stoupání na jednotlivé rychlostní stupně, tyto hodnoty mohou být ale nereálné z důvodu přenesení trakční síly na vozovku. Výsledkem mé práce je ideový návrh, který je doplněn trakčními charakteristikami. Práce slouží jako základ pro konstrukční návrh.

Použitá literatura

1. LEDVINOVÁ, Michaela a Petr NACHTIGALL. *Hospodářská a dopravní geografie: studijní opora*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2015. ISBN 978-80-7395-870-1.
2. SCHMEIDLER, Karel. *Mobilita, transport a dostupnost ve městě*. Ostrava: Key Publishing, 2010. ISBN 978-80-7418-102-3.
3. KLEPRLÍK, Jaroslav. *Silniční doprava*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2011. ISBN 978-80-7395-451-2.
4. ŠIROKÝ, Jaromír. *Technologie dopravy*. 2. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2014. ISBN 978-80-7395-852-7.
5. VLK, František. *Koncepce motorových vozidel: koncepce vozidel: alternativní pohony: komfortní systémy: řízení dynamiky: informační systémy*. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5276-0.
6. VLK, František. *Teorie a konstrukce motocyklů*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1601-7.
7. VLK, František. *Stavba motorových vozidel: [osobní automobily, autobusy, nákladní automobily, jízdní soupravy, ergonomika, biomechanika, struktura, kolize, materiály]*. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8757-2.
8. VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-239-0024-2.
9. Demografická ročenka měst - 2009 až 2018. Český statistický úřad [online]. Praha: ČSÚ, 2019 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/demograficka-rocenka-mest-4tknb9s03b>
10. Znaky města - Katedra urbanismu a územního plánování. Katedra urbanismu a územního plánování [online]. Praha: Uzemi.eu, ©2011 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <http://www.uzemi.eu/pojmy/znaky-mesta>
11. VYUŽÍVÁNÍ RŮZNÝCH DRUHŮ DOPRAVY. Pardubice.eu [online]. Pardubice [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <https://www.pardubice.eu/projekty/pruzkum-dopravniho-chovani/modal-split/>
12. Dopravní podnik města Pardubic a.s. - Historie DPMP. Dopravní podnik města Pardubic a.s. [online]. Pardubice: Dopravní podnik města Pardubic, 2018 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <http://www.dpmp.cz/historie-dpmp/>

13. Parkování P+R - Parkuj v klidu. Parkuj v klidu [online]. Praha: Technická správa komunikací hlavního města Prahy, ©2019 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <http://www.parkujvklidu.cz/cs/parkovani-pr/>
14. Zaostřeno na automobily. Pardubice.eu [online]. Pardubice [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <https://www.pardubice.eu/projekty/pruzkum-dopravniho-chovani/zaostreno-na-automobily/>
15. MATOUŠEK, Honza. Kei cars – Autozine. Autozine [online]. Hradec Králové: Autozine.cz, ©2019, 2.listopadu 2013 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <https://autozine.cz/kei-cars/>
16. Daihatsu. Auta5P Automobilová encyklopedie [online]. Auta5P, ©2000-2019 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: https://auta5p.eu/katalog/daihatsu/copen_01.php
17. Daihatsu Copen 1st Generation 0.66. Car.info - Sök biluppgifter via registreringsnummer [online]. Car.info, ©2014-2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.car.info/en-se/daihatsu/copen/copen-066-10010940>
18. Honda N-Box I 0.7i (58 Hp) 4WD CVT. Auto-data.net [online]. Seo and Web, ©2010-2019 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <https://www.auto-data.net/en/honda-n-box-i-0.7i-58hp-4wd-cvt-35287>
19. Full performance review of 2017 HONDA N-BOX. Automobile-Catalog [online]. PROFESS Pawel Zal, ©2010-2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: https://www.automobile-catalog.com/performance/2017/2599700/honda_n-box_custom_g_turbo_1_package_4wd.html
20. Smart. Auta5P Automobilová encyklopedie [online]. Auta5P, ©2000-2019 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: https://auta5p.eu/katalog/smart/smart_01.php
21. Official Smart City Coupe 2000 safety rating. Euro NCAP [online]. Euro NCAP, ©2020 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.euroncap.com/en/results/smart/city-coupe/15529>
22. Official Smart fortwo 2007 safety rating. Euro NCAP [online]. Euro NCAP, ©2020 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.euroncap.com/en/results/smart/fortwo/15740>
23. Renault Twizy 80. Auta5P Automobilová encyklopedie [online]. Auta5P, ©2000-2019 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: https://auta5p.eu/vystavy/zeneva_2012/zeneva_241.php
24. Auta rostou, velikost parkovacích míst zůstává. E-flotila.cz [online]. Praha: Technika spol. s r.o., ©2010 [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: <http://www.e-flotila.cz/magazin/sprava-flotily/1605-skody-z-nehod-pri-parkovani>

25. Rada schválila přísnější emisní normy CO2 pro osobní automobily a dodávky. Evropská rada Rada Evropské unie [online]. Rada EU, 2019 [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/press/press-releases/2019/04/15/stricter-co2-emission-standards-for-cars-and-vans-signed-off-by-the-council/>
26. Berkeley. Auta5P Automobilová encyklopedie [online]. Auta5P, ©2000-2019 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: https://auta5p.eu/katalog/berkeley/berkeley_t60_03.php
27. Morgan 3 Wheeler. Auta5P Automobilová encyklopedie [online]. Auta5P, ©2000-2019 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: https://auta5p.eu/vystavy/zeneva_2012/zeneva_048.php
28. Velorex Oskar 54. Auta5P Automobilová encyklopedie [online]. Auta5P, ©2000-2019 [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: https://auta5p.eu/srazy/chomutov2003/cv_124.php
29. Reliant Motor Company. 3-wheelers.com [online]. Elvis Payne, ©2000-2018 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <http://www.3wheelers.com/reliant.html>
30. Reliant. Auta5P Automobilová encyklopedie [online]. Auta5P, ©2000-2020 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: https://auta5p.eu/katalog/reliant/robin_04.php
31. Tříkolka Streamer - Thunderbolt. Luxusní auta a tříkolky - Thunderbolt [online]. Thunderbolt, 2019 [cit. 2019-12-06]. Dostupné z: <http://www.thunderbolt.cz/streamer>
32. Thunderbolt Streamer 1.6. Auta5P Automobilová encyklopedie [online]. Auta5P, ©2000-2019 [cit. 2019-12-06]. Dostupné z: https://auta5p.eu/katalog/thunderbolt/streamer_03.php
33. Smart Fortwo. Auto.kataloge.cz [online]. autokataloge.cz, ©2010 [cit. 2019-12-18]. Dostupné z: <http://auto.kataloge.cz/smart-fortwo.php>
34. Honda N Box 2020 Prices in Pakistan, Pictures & Reviews | PakWheels. In: Cars, Used Cars, New Cars, Latest Car Prices and News | PakWheels [online]. PakWheels (Pvt), ©2003-2020 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: https://www.pakwheels.com/new-cars/honda/n-box/?fbclid=IwAR2Uue9OqBcOYww1i_ydwRNkHwv-ZcYrTnMDfwjwR8yoKFTTFgVaVype4fI
35. Amazon.com: 2008 Smart Fortwo Reviews, Images, and Specs: Vehicles. In: Amazon.com: Online Shopping for Electronics, Apparel, Computers, Books, DVDs & more [online]. Amazon.com, ©1996-2020 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/Smart-2008-Fortwo/dp/B011C86UOS>
36. Renault Twizy. In: Renault Logauto - Agencia Renault en Sevilla la Nueva [online]. ©2018 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <https://renaultlogauto.es/vehiculos-nuevos-electricos-renault/twizy/>

37. Auta rostou, místa na parkování nikoliv – čas pro nové normy - ČT24 - Česká televize. In: Česká televize [online]. Praha: Česká televize, ©1996-2019 [cit. 2019-11-20]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/1669240-auta-rostou-mista-na-parkovani-nikoliv-cas-pro-nove-normy>
38. Průměr otáčení: Kdo se otočí nejsnáze? | Auto.cz. In: Auto.cz [online]. CZECH NEWS CENTER a.s, ©2001-2019, 2011 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/prumer-otaceni-kdo-se-otoci-nejsnaze-60465>
39. Berkeley T60 '1959–60. In: Encyclopedia of cars in pictures. WheelsAge.org [online]. 2012 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <https://en.wheelsage.org/berkeley/t60/pictures/dpaorf/>
40. Morgan 3 Wheeler | Forza Motorsport Wiki | Fandom. In: Forza Motorsport Wiki | Fandom [online]. [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: https://forza.fandom.com/wiki/Morgan_3_Wheeler
41. RYCHTERA, Mario. Velorex – Český hadrák. In: Autozine [online]. Hradec Králové: Autozine.cz, ©2019, 17.října 2013 [cit. 2019-12-16]. Dostupné z: <https://autozine.cz/velorex-cesky-hadrak/>
42. Reliant Robin 1973 3D model - Vehicles on Hum3D. In: Hum3d.com [online]. Hum3D.com, a ParaART, LLC company, ©2005-2020 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <https://hum3d.com/3d-models/reliant-robin-1973/>
43. Tříkolka Thunderbolt Streamer - Netradiční zážitky. In: Eldorado - Netradiční zážitky [online]. Eldorado, ©2020 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <https://www.netradicnizazitky.cz/trikolka-thunderbolt-streamer-320p>
44. Smart Fortwo II coupe 1.0i (98 Hp) turbo Brabus. Auto-data.net [online]. Seo and Web, ©2010-2019 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.auto-data.net/en/smart-fortwo-ii-coupe-1.0i-98hp-turbo-brabus-14866>
45. Gear Ratios. Evilution - Smart Car Encyclopaedia [online]. ©2019 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: https://www.evilution.co.uk/info/gear_ratios.htm
46. 451 Petrol Remapping. In: Evilution - Smart Car Encyclopaedia [online]. ©2019 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.evilution.co.uk/index.php?menu=info&mod=791>