



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

VÝPOČETNÍ MODEL A ANALÝZA JÍZDNÍ DYNAMIKY VOZIDLA

COMPUTATIONAL MODEL AND ANALYSIS OF VEHICLE DRIVING DYNAMICS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

FRANTIŠEK MRÁZEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JOSEF STRNADEL, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce



Student: **Mrázek František**

Program: Informační technologie

Název: **Výpočetní model a analýza jízdní dynamiky vozidla**
Computational Model and Analysis of Vehicle Driving Dynamics

Kategorie: Modelování a simulace

Zadání:

1. Zdokumentujte základní pojmy, principy a zákony související s jízdní dynamikou vozidel a proveďte rešerši v oblasti prostředků modelování systémů a analýzu jejich vlastností.
2. Navrhněte vhodnou abstrakci vozidla, jeho okolí a komponent klíčových pro řízení vozidla. Zvolte prostředky vhodné pro modelování a analýzu jízdní dynamiky vozidla.
3. Pomocí prostředků zvolených v předchozím bodě vytvořte model jízdní dynamiky vozidla s cílem sledovat děje klíčové pro jízdní dynamiku vozidla.
4. Funkčnost modelu demonstруйте v několika vhodně zvolených situacích za účelem vyhodnocení jízdní dynamiky vozidla a jejího porovnání s dostupnými daty (např. z jiných modelů, testovacích laboratoří či publikací).
5. Diskutujte a zhodnoťte vlastnosti vytvořeného modelu z hlediska modelování a analýzy jízdní dynamiky vozidla a navrhněte možné směry pokračování v projektu.

Literatura:

- Dle pokynů vedoucího.

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Splnění bodů 1 a 2 zadání, představení koncepce modelu jízdní dynamiky vozidla.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování práce viz <https://www.fit.vut.cz/study/theses/>

Vedoucí práce: **Strnadel Josef, Ing., Ph.D.**

Vedoucí ústavu: Sekanina Lukáš, prof. Ing., Ph.D.

Datum zadání: 1. listopadu 2019

Datum odevzdání: 28. května 2020

Datum schválení: 25. října 2019

Abstrakt

Bakalářská práce se věnuje vytvoření výpočetního modelu a analýze jízdní dynamiky vozidla v souvislosti s principy a zákony, které úzce souvisí s jízdní dynamikou vozidla. Do modelu použijeme klíčové fyzikální jevy související s jízdní dynamikou vozidla, vhodné pro jejich modelování a analýzu. Model bude demonstrovat v několika vhodně zvolených situacích jízdní dynamiku vozidel a tím vytvoří možnost porovnat výsledky s daty získanými z volně dostupných publikací a testů.

Abstract

The bachelor's thesis deals with the creation of a computational model and analysis of vehicle dynamics in connection with the principles and rules that are closely related to vehicle dynamics. We will use the key physical phenomena related to the driving dynamics of the model vehicle, suitable for modeling and analysis. The model will demonstrate the driving dynamics of vehicles in several appropriately selected situations and creates the possibility to compare the results with data obtained from freely available publications and tests.

Klíčová slova

Dynamika, vozidla, jízdní vlastnosti, výpočetní model, jízdní odpory

Keywords

Dynamics, vehicles, driving characteristics, computational model, driving resistences

Citace

MRÁZEK, František. *Výpočetní model a analýza jízdní dynamiky vozidla*. Brno, 2020. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Josef Strnadel, Ph.D.

Výpočetní model a analýza jízdní dynamiky vozidla

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Josefa Strnadela, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....
František Mrázek
6. června 2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Josefu Strnadelovi, Ph.D. za čas, který mi věnoval při jejím vytváření a za jeho přínosné připomínky. Současně bych rád poděkoval Františkovi Mrázkovi, otci, za cenné rady z praxe a rodině za podporu po celou dobu mého studia.

Obsah

1	Úvod	3
2	Fyzikální pozadí	5
2.1	Základní jednotky	7
2.2	Odvozené jednotky	7
2.2.1	Zákon o zachování hybnosti	7
2.2.2	Síly působící proti pohybu tělesa	7
3	Jízdní dynamika vozidel	10
3.1	Zákony související s jízdní dynamikou	10
3.1.1	Kolo a valivý odpor O_f	10
3.1.2	Odpor stoupání O_s	12
3.1.3	Vzdušný odpor O_v	13
3.1.4	Odpor zrychlení O_z	15
3.2	Výkon a síla potřebná k překonání jízdních odporů	16
3.3	Spalovací motor, jako zdroj energie	17
3.4	Spojka a převodové stupně	18
3.4.1	Převodový poměr - i , jednotlivé stupně a kroutící moment - M . . .	19
3.5	Dynamická charakteristika vozidla	20
4	Návrh aplikace	22
4.1	Rozbor k metodám a prostředkům	22
4.1.1	Matlab & Simulink	22
4.1.2	Modelica	23
4.1.3	Princip simulace	23
4.2	Model zrychlení	23
4.2.1	Model zrychlení – graficky	25
4.3	Model brzdění	27
4.3.1	Model brzdění – graficky	28
5	Popis implementace	29
5.1	Funkce rodiny Get...	29
5.2	Funkce rodiny Count...	30
5.3	Funkce AccelerationModel()	30
5.4	Funkce BreakingDistanceModel()	33
5.5	Funkce CheckEndOfSimulation_Acceleration()	34
5.6	Funkce CheckEndOfSimulation_Breaking()	35
5.7	Funkce rodiny Excel	35

5.8	Ostatní funkce	35
6	Zhodnocení řešení	36
6.1	Model zrychlení	36
6.1.1	Model Škoda Fabia 1.2 TSI (81kW)	36
6.1.2	Model Škoda Felicia 1.6 (55kW)	46
6.1.3	Model Škoda 120LE (37kW)	47
6.1.4	Model Ford Fiesta 1.6i Zetec Sport (93kW)	48
6.2	Model brzdění	49
6.2.1	Model osobního vozidla	49
6.2.2	Tabulka s konečnými hodnotami	54
7	Závěr	55
	Literatura	57

Kapitola 1

Úvod

V dnešním světě je slovo rychlost skloňováno ze všech stran v mnoha odvětvích lidské činnosti. Snažíme se o stále efektivnější výsledky, pokud možno v co nejkratší době a ve vysoké kvalitě. Technika nám umožňuje tyto velké nároky splňovat, stroje se neuvěřitelným tempem zdokonalují a co nebylo před několika desítkami let vůbec myslitelné, je pro naši současnost samozřejmé a mnohdy nepostradatelné. Možnost využití všech důmyslných technických možností klade stále větší nároky na jejich uživatele, člověk má však ve svých schopnostech naučit se vše ovládat určité hranice. Rychlost vnímat své okolní podněty mohou lidé cvičením a stálým opakováním zlepšovat, mají na to zásadní vliv intelekt jednotlivce, jeho věk, pohlaví a další aspekty. Je to vlastně schopnost jedince v určitém čase, určitou rychlostí něco zvládnout. Pohyb je proto zásadním předpokladem pro činnost každého člověka. Pro vytvoření pohybu je nutná energie a její co možná nejefektivnější využití, to platí pro chůzi, běh, jízdu na kole, nebo jízdu nějakým motorovým prostředkem odebírajícím energii z nezávislého zdroje. Jedním z nejrozšířenějších dopravních prostředků je v dnešní době automobil. Mnoho uživatelů tento dopravní prostředek preferuje pro jeho jízdní vlastnosti, snadné ovládání a přepravní možnosti.

Automobil ovládá řidič, určuje, jeho rychlost a směr pohybu, přičemž využívá jeho jízdních vlastností a technických parametrů. Mezi tyto parametry a vlastnosti patří celková konstrukce vozu, karoserie s podvozkem, síla hnacího agregátu, konstrukce převodovky tzn. možnost volby převodových stupňů manuálně nebo automaticky a přenos hnací síly pomocí pneumatik na jízdní cestu. Důležité jsou také tlumiče udržující přítláčnou sílu kol v přijatelných mezích a v neposlední řadě konstrukce brzd. Jízdu však neovlivňuje pouze řidič a vlastnosti automobilu, ale mnoho dalších vnějších faktorů, mezi které patří povětrnostní vlivy, jako vítr, déšť tzn. voda a s tím související bahnitý povrch, nízká teplota tzn. náledí, sněhová pokrývka. Mnohdy rozhodující pro pohyb automobilu jsou sklonové poměry, jízda do stoupání namáhá motorovou část vozu, jízda ze stoupání klade vedle motoru velké nároky na soustavu brzd, s ohledem na ztížení, velikost a hmotnost nákladu. Všechny výše uvedené můžeme říci základní faktory a mnoho další vedlejších ovlivňují jízdní dynamiku vozidla. Možnost porovnání parametrů uváděných výrobcí aut s testy uskutečněnými nezávisle na automobilce může pomoci vytvořit pravdivější obraz o parametrech testovaných vozů. Zde je důležité, aby se při testech vytvořily podmínky, které se co možná nejvíce podobají skutečným provozním. Vyhodnocení ukáže shodu nebo velikost rozdílů mezi kvalitou simulací jednotlivých testů. Upraví se tak parametry zatížení motoru, spotřeby pohonných hmot, velikosti emisí a schopnosti přenést maximální výkon na vozovku.

Vytvořením výpočetního modelu jízdní dynamiky vozidla, dostaneme možnost porovnat chování vozidla podle různě zvolených parametrů. Do modelu použijeme klíčové fyzikální jevy související s jízdní dynamikou vozidla vhodnou pro modelování a následnou analýzu.

Kapitola 2

Fyzikální pozadí

Pohyb znamená vždy nějakou změnu polohy nejméně dvou těles ve vztažné soustavě, kde se v daném okamžiku nacházejí. Vždy záleží na tom kdo nebo kde je pozorovatel a kde je pozorované těleso nebo skupina těles, tedy uvažovaná vztažná soustava, ve které se pohyb zkoumá. To znamená, že je pohyb relativní a že se jedná o tzv. relativitu pohybu. Pohyb provádí každou částičku hmoty, je její nedílnou součástí. Důkazem toho je vesmír, jeho vznik a vývoj, jakou obrovskou proměnu prodělal. Vše probíhalo při náhlých změnách teplot a tlaků ve velice krátkých i dlouhých časových intervalech z pohledu člověka zvyklého na zemské poměry.

My se však nebudeme zabývat rychlostmi blízcími se rychlosti světla, ale budou nás zajímat pohyby, které dokážeme vnímat našimi smysly při naší každodenní činnosti. Lidé měli při pohledu do minulosti vždy potřebu přemísťovat se z místa na místo, přenášet a později převážet své výrobky. Nejdříve používali pouze své vlastní svaly, pohybové ústrojí tzv. lokomoci člověka [17, s. 489], ale protože vývoj nelze zastavit a lidskou vynalézavost také ne, začali naši předkové chovat různé druhy zvířat, které využívali pro dopravu. Vynález kola znamenal velký pokrok. Tato součástka otáčející se kolem své osy, středu byla vyrobená zprvu ze dřeva nebo z kamene a usnadnila život lidem již před tisíci lety. Historikové se domnívají, že kolo bylo nejdříve používáno jako hrnčířský kruh při výrobě hliněných nádob [16, s. 468], až později ho použili na jednoosé vozy tažené většinou zvířaty. Doprava se zdokonalovala, nebyl to však pouze jeden druh dopravy, dnes by se řeklo silniční. Daleko starší způsob dopravy bylo cestování po vodě pomocí klád svázaných k sobě jako vor, později vyráběli jednoduché lodě tesané ze dřeva nebo vyrobené ze svázaného rákosí. Lodní způsob dopravy umožnil cestování a převážení nákladu na velké vzdálenosti i přes moře a oceány, kam nebylo možné se jinak dostat. Vynález plachet umístěných na stožárech lodí dodal potřebnou energii a plavidla mohla být proto větší i těžší. Nevýhodou však byla závislost na vhodném vodním toku, proto se tento způsob dopravy nedal použít všude. Úprava vodního toku je daleko náročnější než vytvoření sjízdné zpevněné cesty, která navíc může vést i do hornatých málo přístupných míst. Vyspělé civilizace, jako byla třeba říše Římská, měly vybudovanou celou síť zpevněných cest, po kterých mohly jezdit těžké vozy. Úpadkem říše se ale cesty neudržovaly v dobrém stavu a jízda po nich byla krkolomná, nepohodlná a časově náročná. Na vozy se proto začala vyrábět kola o větším průměru, která snáze zdolávala výmoly. Pro ještě větší jízdní komfort se na vozy převážející cestující začalo montovat odpružení s listovými pružinami. Později byl obvod kol vylepšen předchůdkyní dnešní pneumatiky tvrdou pryžovou vrstvou, která utlumovala rázy přenášené z cesty přes kola a odpružení na kostru vozu. Železné obruče používané stále na vozech převážející náklad byly vyráběny širší, ale i přesto docházelo k zaboření kola do nezpevněné cesty. Utáhnout těžký

vůz v takovém terénu vyžadovalo použití více tažných zvířat, proto si společnosti převážející náklad o velké hmotnosti nechaly zbudovat tzv. dráhu, předchůdkyni dnešních železničních kolejí. Tato trať, dráha nazývaná koněspřežná podle používaných tažných zvířat, umožnila na příznivých sklonových poměrech převážet náklad mnohem snadněji a ve větším množství než dříve.

V 17. a 18. století započaly velké změny, které se odrážely v celé společnosti evropských států. Velká Británie se považuje za kolébkou průmyslové revoluce, ze které se šířil sociální i hospodářský pokrok přes sousední státy do celé Evropy. Jednoduchou manufakturní výrobu pomalu nahrazovala rozvíjející se tovární výroba [22, s. 786]. Fyzicky náročnou ruční práci v mnoha případech začaly nahrazovat dokonalejší stroje používané při výrobě v továrnách. Pro pohon těchto strojů bylo nutné dodat potřebné množství energie. Stalo se nutností nahradit ruční pohon člověka, například točení klikou, nebo zvířecí sílu převáděnou pomocí otáčejícího se rumpálu, za pohon, kde by dodávaná energie byla mnohem větší a nekolísající intenzitě. Inspirací pro strojní výrobu byly větrné, ale hlavně vodní mlýny a hamry. Speciálně vyráběná vodní kola podle průtoku a spádu vodního toku, umístěná i kaskádovitě [23, s. 164], poháněla přes soustavu hřídelů a převodů, řešených ozubenými koly, nebo pomocí plochých řemenů stroje uvnitř dílen. Díky mnohým vynálezům v oblasti fyziky a chemie se dařilo vyrábět stále dokonalejší stroje.

Jedním přímo průkopnickým vynálezem období průmyslové revoluce bylo Denisem Papinem v roce 1688 sestrojení modelu atmosférického parního stroje. Tlak páry zvedl píst ve válci, pára zkondenzovala a píst se vrátil do původní polohy díky podtlaku i atmosférickému tlaku za pístem ve válci. I když tento parní stroj pohyboval závažím, nebyl však ještě prakticky využitelný [20, s. 7]. Na základě těchto zkušeností sestrojil anglický kovář Thomas Newcomen v roce 1705 již první využitelný ruční atmosférický vahadlový jednočinný parní stroj s výkonem 6 HP a účinností 1 %. O parní stroj dvojčinný, jak ho známe dnes, tj. s úplným klikovým mechanismem, šoupátkem a regulátorem páry se zasloužil skotský mechanik James Watt (1736-1819). V roce 1769 zdokonalil původní atmosférický stroj natolik, že ten pracoval zcela samočinně [20, s. 8]. Wattův parní stroj tak mohli použít další vynálezci a konstruktéři do svých strojů. Pára poháněla čerpadla v dolech, stroje v továrnách, ale i dopravní prostředky jako byly lodě, lokomotivy, lokomobily (předchůdce dnešních traktorů) a vozidla převážející lidi, která vypadala jako kočár bez koní, ze kterého vychází kouř.

Ve střední Evropě sestrojil první parní vůz český mechanik Josef Božek v roce 1815. Svůj samohyb předvedl v Praze ve Stromovce a pro velký úspěch musel celou předváděcí akci zopakovat [20, s. 61]. Obsluhovat parní stroj, tj. přikládat, dopouštět vodu do kotle a regulovat tlak páry, bylo velice složité. Proto se mnoho konstruktérů snažilo nahradit páru za jiné palivo, čímž vlastně řešili konstrukci spalovacího motoru. Alternativ bylo mnoho, mezi kuriózní palivo, které se ale ukázalo jako nevhodné, byl i střelný prach. Potvrdilo se však, že spalování plynu (svítiplyn, vodík), nebo kapalného paliva (petrolej, později benzín a nafta), které má největší objemovou hustotu energie, je možné ve válci, a tak působit tlakem spalín na píst. V roce 1858 francouzský fyzik Degrad vymyslel princip dvoudobého a čtyřdobého spalovacího motoru [20, s. 15]. Úplný klikový mechanismus vhodný pro parní stroj nahradil zkrácený, u kterého odpadá pístnice a křížák. Bylo nutné ještě vyřešit nasátí potřebného množství paliva se vzduchem, ve vhodný okamžik je zapálit a odstranit spaliny pro další cyklus.

Pístový spalovací motor vylepšovalo mnoho vynálezců a konstruktérů, většina jmen časem upadla v zapomnění, ale jména jako Carl Friedrich Michael Benz, Gottlieb Daimler, Rudolf Diesel nenechávají na pochybách ani laiky, že se jedná o významná jména spojená s automobily.

2.1 Základní jednotky

s – dráha, základní jednotka je metr $[m]$ [15, s. 4]

t – čas, základní jednotka je sekunda $[s]$ [15, s. 5]

m – hmotnost, základní jednotka kilogram $[kg]$ [15, s. 8]

2.2 Odvozené jednotky

v – rychlost, dráha za čas $v = \frac{s}{t} [m/s]$ [15, s. 60]

a – zrychlení, rychlost za čas $a = \frac{v}{t} [m/s^2]$ [15, s. 61]

g – tíhové zrychlení, dohodnutá střední hodnota $g = 9,81 m/s^2$ [15, s. 95]

F – síla $F = m \cdot a = m \cdot \frac{v}{t}$, to znamená, že na těleso, hmotu působí síla, která tělesu udává zrychlení, jednotka je newton — N $[m \cdot kg \cdot s^{-2}]$, vektorová veličina, která má působiště, směr i velikost, 1 N je síla, která udělí tělesu o hmotnosti 1 kg zrychlení $1 m/s^2$ [15, s. 92]

$$F = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ po úpravě}$$

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

p – hybnost tělesa, $p = m \cdot v$ je součin hmotnosti tělesa a jeho rychlosti, jednotka kilogrammetr za sekundu $[kg \cdot m \cdot s^{-1}]$, změna hybnosti je potom $\Delta p = m \cdot \Delta v$ a závisí na změně rychlosti

I – impulz síly je roven změně hybnosti tělesa $I = \Delta p = m \cdot \Delta v = F \cdot \Delta t$, jednotkou je newton sekunda $[N \cdot s]$ závisí na síle a době, kterou na těleso síla působí

2.2.1 Zákon o zachování hybnosti

Pokud tělesa na sebe působí navzájem silou, ta je u tělesa 1 i 2 stejně velká, ale opačně orientovaná.

$$m_1 \cdot v_1 = -m_2 \cdot v_2$$

Uvedeme-li obě tělesa z klidu do pohybu jen vzájemným silovým působením, je součet jejich hybností stále nulový.

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = 0$$

2.2.2 Síly působící proti pohybu tělesa

F_t – třecí síla směřuje proti pohybu tělesa, působiště má na styčné třecí ploše, při malých rychlostech posuvu nezávisí na rychlosti a při velkých rychlostech se součinitel tření zmenšuje

$$F_t = f \cdot F_n$$

f – je součiniteli smykového tření, který závisí na jakosti styčných ploch, jsou-li tělesa navzájem v klidu je součinitel klidového tření f_o větší než f součinitel tření za pohybu (součinitel smykového tření nemá jednotku $f = 1$), přímo úměrný je i plošný obsah styčných ploch zvětšující tření F_n – tlakové síle, $F_n = G = m \cdot g$

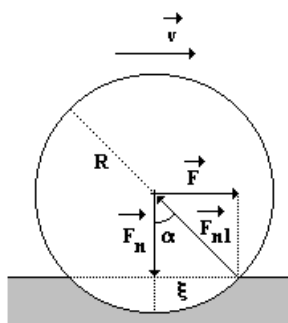
F_v – valivá síla $F_v = \vec{F} = \frac{\xi}{R} \vec{F}_n = \sin \alpha \cdot \vec{F}_n$ závisí na velikosti valivého odporu působícího proti směru pohybu, vzniká určitou deformací tělesa kruhového průřezu a podložky, normálová síla $\vec{F}_n$ zapříčiní deformaci podložky, působením síly $\vec{F}$, kterou držíme těleso v pohybu, se působíště skutečné reakce $\vec{F}_{n1}$ posune o ξ dopředu.

$$\vec{F} - \vec{F}_v = \vec{F}_n \cdot \tan \alpha, \text{ pro malé úhly } \alpha \text{ platí } \tan \alpha \approx \sin \alpha, \sin \alpha = \frac{\xi}{R}$$

ξ – rameno valivého odporu, čím větší deformace podložky, tím větší rameno valivého odporu

R – poloměr kruhového tělesa

Valivý odpor bývá vždy menší než smykové tření (válečky pod těžkými břemeny usnadňují pohyb).



Obr. 1 Valivý odpor [19]

W – práce, $W = F \cdot s$, síla F působící na těleso po dráze s , jednotka joule – J [$N \cdot m$; $\frac{kg \cdot m^2}{s^2}$], má stejnou jednotku a rozměr jako energie, energie předaná nebo přeměněná, práci lze odvodit z výkonu $W = P \cdot t$ [wattsekunda $1Ws = 1J$] s takovou jednotkou se setkáváme běžné praxi jako jednotky pro měření energie, v převodu [15, s. 143]

$$1000W \cdot 3600s = 3,6 \cdot 10^6 J = 1000Wh = 1kWh$$

E – energie, $E = m \cdot c^2$, kde m určuje hmotnost a c rychlost světla, rozlišuje se podle zdroje, který energii produkuje např. svalová, parní, sluneční, vodní, jaderná a podle působící síly např. mechanická (kinetická, potenciální), elektrická, magnetická, světelná apod.

P – výkon, $P = \frac{W}{t}$, práce vykonaná za nějaký čas, jednotkou je watt – W [$J \cdot s^{-1}$], výkon 1 wattu znamená vykonávání práce o energii 1 joule, podobu 1 sekundy. Starší jednotkou výkonu, dnes používanou výjimečně i v automobilovém odvětví, byla koňská síla značená HP podle anglického horsepower. Zjednodušeně řečeno, síla jednoho koně se rovná přibližně 735,5 wattům a opačně 1 kW je roven 1,34 HP [15, s. 156].

U pohybujícího se automobilu (hmotného tělesa) můžeme vyjádřit jako pohyb po přímce na které působí síla $\vec{F}$, auto urazí dráhu $\Delta s = v \cdot \Delta t$ za čas (dobu) Δt z okamžité rychlosti auta. Okamžitý výkon P_0 lze potom vyjádřit:

$$P_0 = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{F \Delta s}{\Delta t} = F \cdot v$$

M – točivý (kroutící) moment $[Nm]$, 1 Nm je síla o 1 N působící na rameno m_r o délce 1 metru

$$M = N \cdot m_r$$

– pokud rameno páky vykoná pohyb o dráze 1 metru vykoná práci 1 Joule

$$W = M \cdot s$$

– pokud se nám podaří dráhu 1 metru zvládnout za 1 sekundu vykonáme výkon 1 Wattu

$$P = M \cdot \text{otacky} \cdot \frac{3,14}{30} \text{ [výkon ve W]} \text{tech}$$

$$1 \text{ ot/min} = \frac{\pi}{30} \text{ rad/s}$$

$$P = M \cdot \frac{\text{otacky}}{9549} \text{ [výkon v kW]}$$

Kapitola 3

Jízdní dynamika vozidel

Vozidlo, u kterého budeme pozorovat jeho dynamické vlastnosti, si můžeme představit jako dvoustopé čtyřkolové vozidlo, tedy osobní automobil. Automobil o určité hmotnosti tvoří hnací ústrojí s koly zavěšenými na odpružených ramenech, aerodynamicky i esteticky tvarová karosérie, vnitřní vybavení vozu se zavazadlovým prostorem a v neposlední řadě řidič se spolucestujícími. Důležitá je styčná plocha mezi kolem a povrchem, po kterém se vozidlo pohybuje. Tato plocha je více méně dána klimatickými vlivy a okolním prostředím. Do prostředí se promítnou i sklonové poměry. Rozjíždění, udržování rychlosti, zpomalování, brzdění a vůbec celkové ovládání vozidla je však závislé na osobě řidiče.

Z předchozího výčtu je patrné, že pro vytvoření modelu jízdní dynamiky budeme nuceni si vybrat, zvolit pouze základní, pro náš model důležité fyzikální vlivy na jízdu vozidla. Tímto zjednodušením naopak vyzdvihneme to, co je nejdůležitější a podstatné na jízdní dynamice pro vytvoření určitého modelu [21, s. 11].

3.1 Zákony související s jízdní dynamikou

Jízdu vpřed a brzdění v přímém směru ovlivňují jízdní odpory. Z názvu již vyplývá, že působí proti směru pohybu vozidla.

3.1.1 Kolo a valivý odpor O_f

Valivý poloměr kola: r_k – udává poloměr kola (fiktivní veličina) volně se otáčejícího, má stejnou dopřednou rychlost jako skutečné kolo.

Dynamický (účinný) poloměr: r_d — skutečný poloměr kola.

- a) Oba poloměry se rovnají ($r_k = r_d$) pokud kolo nepřenáší žádnou obvodovou sílu, žádný hnací moment M_k , pokud se hnací moment zvětší, poloměr valení r_k se zmenší oproti dynamickému r_d .
- b) Prokluzuje-li hnací kolo je valivý poloměr $r_k = 0$ nulový
- c) Při zablokování kola brzděním je $r_k \rightarrow \infty$

Hnací sílu vozidla F_k určuje součtem hnacích momentů M_{ki} , dělený dynamickým poloměrem r_{di}

$$F_k = \sum \frac{M_{ki}}{r_{di}}$$

Hnací síla F_k musí překonat všechny jízdní odpory

$$F_k = O_f + O_v + O_s + O_z$$

O_f – valivý odpor vozidla daný součtem valivých odporů jednotlivých kol

O_v – vzdušný odpor jsou ztráty vznikající prouděním vzduchu okolo vozidla

O_s – odpor stoupání je závislý na celkové tíze vozu a úhlu α tj. rozdílu sklonu stoupání s vodorovnou jízdní dráhou

O_z – odpor zrychlení tvoří setrvačná síla působící proti směru zrychlení

Místu, kde se pneumatika dotýká vozovky určitou plochou, říkáme stopa. Velikost stopy závisí na materiálu pneumatiky a podkladu, na kterém se kolo odvaluje. Podle hmotnosti vozidla, tlaku v pneumatikách a tuhosti povrchu podkladu cesty, vznikají ztráty, kterým říkáme valivý odpor kola O_{fK} . Ten vyvolá radiální reakci vozovky rovnající se zatížení kola, vytvoří silovou dvojici působící proti otáčení kola moment $M_{fK} = Z_K \cdot e$. Moment M_{fK} působící z podkladu cesty vyvolá silovou reakci, kdy ve středu kola působí vodorovná dvojice sil $F_{xK} = O_{fK}$ (O_{fK} působí proti pohybu kola) z čehož plyne

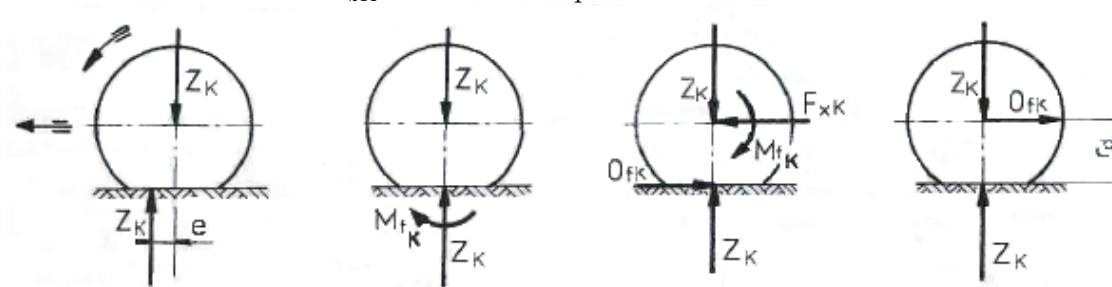
$$M_{fK} = O_{fK} \cdot r_d = Z_K \cdot e$$

$$O_{fK} = Z_K \cdot \frac{e}{r_d} = Z_K \cdot f_k$$

$$f_k = \frac{e}{r_d} = \text{součinitel valivého odporu}$$

$$Z_K = F_{zK} \cdot G_K = \text{svislé zatížení kola}$$

F_{zK} – tíha vozidla přenášená na kolo



Obr 2. Moment valivého odporu kola M_{fK} na volně valícím se kole a jeho valivý odpor [21, s. 22]

Deformace pneumatiky závisí nejvíce na jejím tlaku, na huštění, s klesajícím tlakem vzrůstá deformace, zvětšují se ztráty, které se přeměňují v teplo. Zahříváním pneumatika může dosáhnout teploty, při které již mění své jízdní vlastnosti. V přední části stopy ve směru jízdy je deformace, stlačení pneumatiky největší, kopíruje tvar vozovky, Z_k se posunuje dopředu ve směru jízdy o hodnotu e . Směrem ke konci stopy pneumatika opět dostává

původní tvar, tato změna je závislá na rychlosti. Velká rychlost rozkmitá boční stěny pláště. Do 80km rychlosti u osobních aut a 50 km u nákladních nemá rychlost zásadní vliv na součinitel valivého odporu [21, s. 22].

Zásadní vliv na součinitel valivého odporu má však povrch vozovky, daný materiálem, ze kterého je povrch vytvořen.

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		

Tab 1. Součinitel valivého odporu pro různé typy povrchu [21, s. 23]

Za předpokladu, že všechna kola mají stejnou hodnotu součinitele valivého odporu je valivý odpor:

$$O_f = f_K \cdot G \cdot \cos \alpha$$

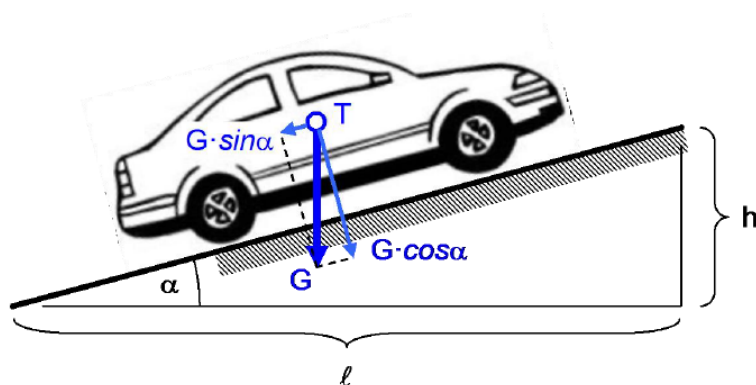
G – hmotnost vozidla $\cos \alpha$ – úhel, sklon cesty, pod kterým působí hmotnost vozidla G na rovinu vozovky Příklad: cesta se sklonem $s = 17,6 \%$, má úhel $\alpha = 10^\circ$ což je, $\cos \alpha$ deseti stupňů 0,985

Jízda po rovině

$$O_f = f_K \cdot G$$

$$O_f = \sum z_{ki} \cdot \frac{e_i}{r_{di}}$$

3.1.2 Odpor stoupání O_s



Obr 3. Odpor stoupání [4]

Čím větší je sklon cesty, tím více naroste odpor stoupání O_s . Pro výpočet je jednodušší použít sklon svahu $s = \frac{h}{l} = \tan \alpha$, pro sklonu $\alpha < 17^\circ$, tj. $s < 0,3 = 30\%$ ($\sin \alpha \cong \tan \alpha$) *chyba* $< 5\%$ $O_s \cong G \cdot s$

$$O_s = \pm G \cdot s = G \cdot \sin \alpha$$

Plus nebo mínus v rovnici určuje jízdu do svahu nebo ze svahu a G je celková tíha. Maximální stoupání vozovky je 10-12 %, u dálnice jen asi okolo 6 %.

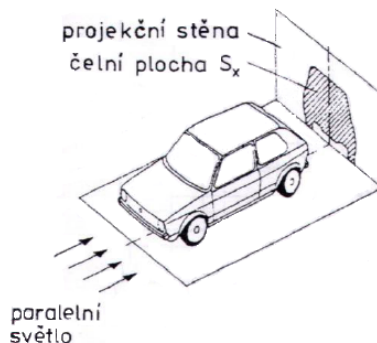
3.1.3 Vzdušný odpor O_v

Jedoucí vozidlo obklopuje ze všech stran proudící vzduch, vznikají tak rozdíly tlaku vzduchu mezi zadní a přední částí vozu, za vozem dochází působením třecích sil o karoserii k víření, musíme brát v úvahu i rozdíly tlaku nad a pod karosérií. Vzdušný odpor se mění s každým záhybem a spárou karoserie, vliv má i proudění vzduchu do chladiče motoru, topení i větracího okénka.

$$O_v = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v_r^2$$

ρ – měrná hmotnost vzduchu, pro naše podmínky použijeme měrnou hmotnost vzduchu $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$, tj. při teplotě 15° C a tlaku vzduchu 1,013 bar c_x – součinitel vzdušného odporu, se měří v aerodynamickém tunelu a jeho hodnota je nejvíce závislá na tvaru karoserie

- c_x u osobního automobilu budeme uvažovat 0,3 – 0,4
- c_x u závodního vozu s karosérií upravenou pro co nejmenší odpor vzduchu použijeme hodnotu 0,3 – 0,5



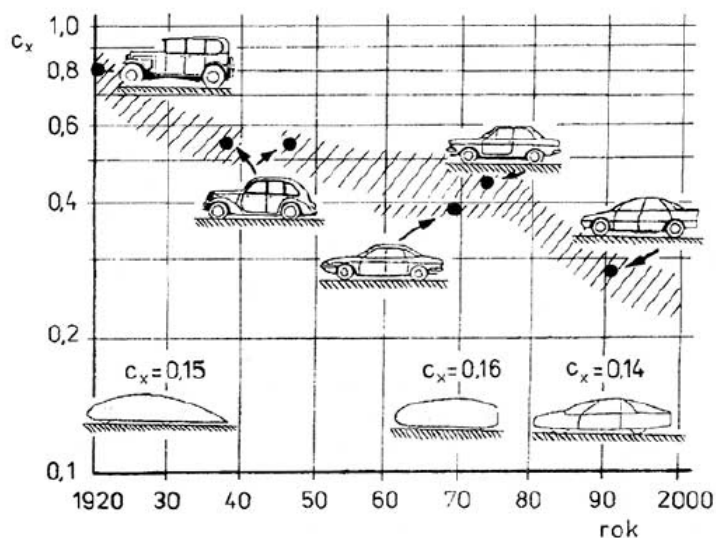
Obr 4. [21, s. 19]

Typ vozidla	c_x [l]	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 plachtou	0,6 – 0,8	5 – 8
nákladní vozy – s přívěsem	1,0 – 1,2	5 – 8
nákladní vozy – s kontejnerovým návěsem	1,0 – 1,2	9
autobusy	0,5 – 0,7	5–7

Tab 2. Součinitel vzdušného odporu c_x a čelní plocha S_x

S_x – čelní plocha vozu získaná jako plocha stínu promítnutá na stěnu za vozem Obr. 6

- S_x u osobního automobilu budeme uvažovat $1,6 - 2,0 \text{ m}^2$
- s_x u závodního vozu s aerodynamicky upravenou karoserií použijeme plochu $1,3 - 1,6 \text{ m}^2$



Obr 5. Různé typy karosérií podle roku výroby a jejich vzdušného odporu [21, s. 28]

v_r – náporová rychlost vzduchu je rychlost vozidla v , popřípadě se k tomu ještě počítá s rychlostí větru v_v [21, s. 29]

Rychlost větru, stejně jako tvar a plocha karoserie ovlivňuje vzdušný odpor vozidla. Rychlosti větru se dělí do 12 základních stupňů. Tuto stupnici sestavil v letech 1805 – 1808 britský kontraadmirál sir Francis Beaufort. Tato stupnice umožňuje odhad síly větru podle vlnění mořské hladiny a proto nevyžaduje žádné přístroje. Slovní označení síly větru se používá také v meteorologii [11].

Stup.	Vítr	km/h	Na souši
0	bezvětří	< 1	kouř stoupá kolmo vzhůru
1	vánek	1 – 5	směr větru lze poznat podle pohybu kouře
2	větřík	6 – 11	listí stromu šelestí
3	slabý vítr	12 – 19	listy stromů a větvičky jsou v trvalém pohybu
4	mírný vítr	20 – 28	vítr zvedá prach a útržky papíru
5	čerstvý vítr	29 – 39	listnaté keře se začínají hýbat
6	silný vítr	40 – 49	telegrafní dráty sviští, používání deštníků je nesnadné
7	mírný víchř	50 – 61	chůze proti větru je obtížná, celé stromy se pohybují
8	čerstvý víchř	62 – 74	ulamují se větve, chůze proti větru je normálně nemožná
9	silný víchř	75 – 88	vítr strhává komíny, tašky a břidlice ze střech
10	plný víchř	89 – 102	vítr strhává komíny, tašky a břidlice ze střech
11	vichřice	103 – 114	vítr působí rozsáhlá pustošení
12	orkán	> 117	ničivé účinky (vítr odnáší střechy, hýbe těžkými hmotami)

Tab 3. Beaufortova stupnice [11]

3.1.4 Odpor zrychlení O_z

Odpor zrychlení O_z tvoří setrvačná síla působící proti síle F_k , která vozidlo má zrychlit. Celkový odpor zrychlení je složen z odporu zrychlení O_{zp} vozu, tělesa o hmotnosti m a z odporu zrychlení otáčejících se součástí O_{zr} se zrychlením a_x .

$$O_{zp} = m \cdot a_x \quad O_{zr} = \sum_i \frac{J_{ki}}{r_{di} \cdot r_{ki}} \cdot a_x$$

$$O_z = O_{zp} + O_{zr} = \left(m + \sum_i \frac{J_{ki}}{r_{di} \cdot r_{ki}} \right) \cdot a_x = \vartheta \cdot m \cdot a_x$$

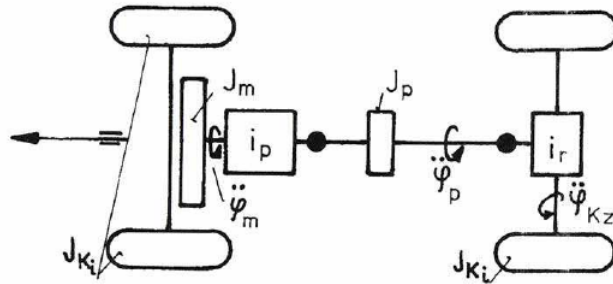
J_{ki} – hmotnostní moment setrvačnosti kola

r_{di} – dynamický, skutečný poloměr kola je větší než valivý při záběru kola vlivem tečné deformace pláště

r_{ki} – valivý poloměr kola je větší naopak při brzdění vlivem tečné deformace pláště, u prokluzujícího se kola je poloměr r_k nulový a naopak zablokované kolo má r_k nekonečně velké

ϑ – součinitel vlivu rotačních součástí, klesá při zařazení vyššího rychlostního stupně

- 4 rychlostní stupeň má součinitel $\vartheta \approx 1,05$
- 3 rychlostní stupeň má součinitel $\vartheta \approx 1,1$
- 2 rychlostní stupeň má součinitel $\vartheta \approx 1,15$
- 1 rychlostní stupeň má součinitel $\vartheta \approx 1,4$ [21, s. 34]



Obr 6. rotující části automobilu [21, s. 32]

J_m – hmotnostní moment setrvačnosti rotujících součástí

J_p – převod převodovky

i_r – převod rozvodovky

φ_m – úhlové zrychlení rotujících částí motoru

φ_{Kz} – úhlové zrychlení hnacích kol

3.2 Výkon a síla potřebná k překonání jízdních odporů

Jedná se o takzvaný hnací výkon, který musí přes kola vozu překonat všechny jízdní odpory. Z rovnice vyplývá, že potřebný výkon se zvětšuje úměrně všemi jízdními odpory a je vzrůstající i rychlostí vozidla v .

P_k – výkon přivedený na kola

$$P_k = F_k \cdot v = \frac{M_k}{r_d} \cdot v = (O_f + O_v + O_s + O_z) \cdot v$$

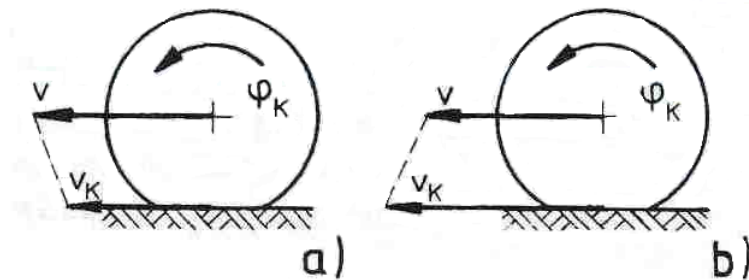
$$P_k = G \cdot (f \pm s) \cdot v + c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot v^3$$

Při zanedbání odporu zrychlení a vlivu bočního větru.

M_k – hnací moment kola, je točivý moment přiváděný na kola

F_k – celkový jízdní odpor

v – rychlost jízdy



Obr 7. Vztah mezi rychlostí vozidla v , rychlostí kola $v_k = \varphi_k r_d = a_k$ a obvodovou rychlostí kola φ_k [21, s. 40]

a) Kinematika u brzděného kola $v > v_k$

b) Kinematika rozjíždějícího se kola $v < v_k$

Skluz nebo také prokluzování kol je nežádoucí jev, který se mění s hodnotou součinitele skluzové přilnavosti μ_σ , a součinitel valivé přilnavosti μ_v , aby nedošlo k prokluzu, smýkání kol, nesmí překročit kritickou mez podélné reakce H_{Kmax} mezi kolem a jízdní dráhou. Pokud dojde k překročení H_{Kmax} stává se vozidlo neovladatelné i ve směru příčném ke směru jízdy. S tím úzce souvisí maximální možná hnací (adhezní) síla přiváděná na kola F_{kmax} , ovlivněná adhezním zatížením vozidla $G \cos \alpha$ působícím kolmo na plochu vozovky.

$$F_{Kmax} = \mu_v \sum_i Z_{Ki} = \mu_v \cdot G \cdot \cos \alpha$$

Maximální točivý moment přenášený na kola

$$M_{Kmax} = \mu_v \cdot F_{Kmax} \cdot r_d = \mu_v \cdot Z_k \cdot r_d$$

Maximální výkon využitelný při přenosu energie na kola

$$P_{Kmax} = F_{Kmax} \cdot v$$

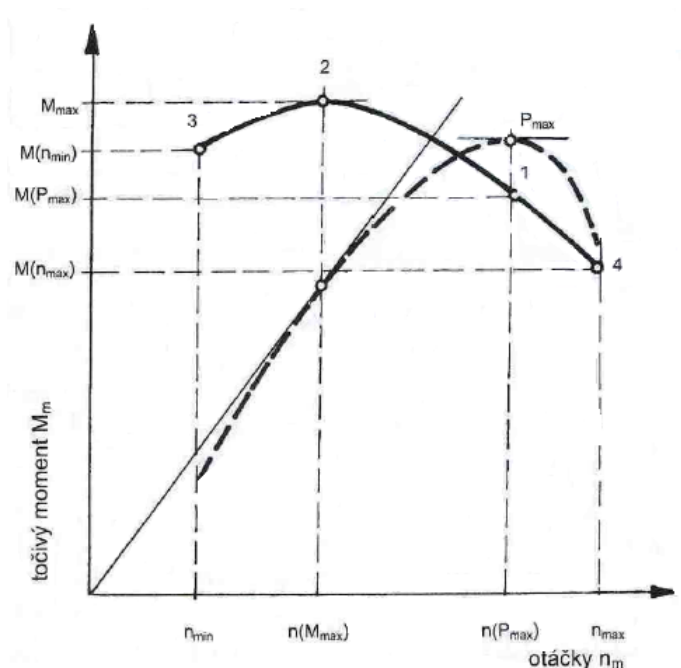
Z_k — normálová reakce $Z_k = F \cdot \cos \alpha$

Vozovka		Hodnota	Vozovka		Hodnota
beton	suchý	0,8 – 1,0	asfalt	suchý	0,6 – 0,9
	mokrý	0,5 – 0,8		mokrý	0,3 – 0,8
dlažba	suchá	0,6 – 0,8	makadam	suchý	0,6 – 0,8
	mokrá	0,3 – 0,5		mokrý	0,3 – 0,5
polní cesta	suchá	0,4 – 0,6	tráva	suchá	0,4 – 0,6
	mokrá	0,3 – 0,4		mokrá	0,2 – 0,5
hluboký písek, sníh		0,2 – 0,4	náledí		0,1 – 0,3

Tab 4. Součinitel přílnavosti μ , pro různé druhy povrchů vozovky [21, s. 44]

3.3 Spalovací motor, jako zdroj energie

Na překonání všech jízdních odporů je nutné vyrobit potřebnou energii, kterou nejčastěji dodá spalovací zážehový nebo vznětový motor.



Obr 8. Vnější rychlostní charakteristika spalovacího motoru při plném zatížení [21, s. 48]

M_m – točivý moment $[N.m]$, někdy nazývaný krouticí moment, nebo hnací moment motoru, při otáčkách motoru n_m a výkon motoru P $[W, kW, HP]$

Charakteristika vypovídá o užitečných vlastnostech spalovacího motoru, zjišťuje se na zkušebním stavu (dynamometru) – lidově řečeno na brzdě, na motoru zahřátém na provozní

teplotu s plnou dodávkou paliva (škrtící klapka je plně otevřena) při rozsahu provozních otáček, tj. n_{min} (volnoběžné otáčky motoru jsou nižší) až n_{max} , v zatíženém stavu, a to bez poklesu, potlačování otáček motoru.

- V bodě 3. začne motor dodávat výkon P (začne vykonávat práci za čas t), kde otáčky motoru budou n_{min} s točivým momentem M
- Bod 2. se nachází v místě stoupajícího výkonu i otáček, kde motor dosáhl maximálního točivého momentu
- V bodě 1. má již motor nejvyšší možný výkon P_{max} , který je schopný dodat, ale při klesajícím točivém momentu a nepotlačených otáčkách
- Bod 4. označuje na charakteristice místo, kde motoru klesá už i výkon, při stále ještě nepotlačených maximálních provozních otáčkách

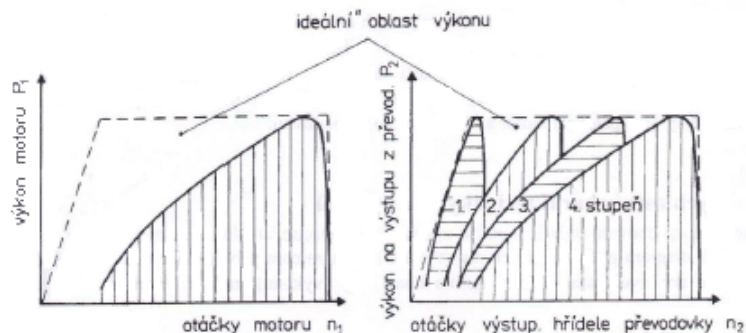
3.4 Spojka a převodové stupně

Samostatný motor by nedokázal vyhovět svými otáčkami a výkonem požadavkům kladeným na vozidlo, proto musí dojít k určité úpravě těchto parametrů pomocí převodového ústrojí, převodových stupňů. Pomocí spojky, nejčastěji používané třecí nebo hydrodynamické, s určitými ztrátami (ztráty třením, přeměna energie v teplo) je přenesen točivý moment motoru do převodovky [14, s. 394].

Požadavky na převodovku:

- Odpojí hnací ústrojí motor, od kol a tím umožní mít u stojícího vozidla chod motoru na volnoběžných otáčkách
- Umožní jízdu vpřed i vzad
- Upraví charakteristiku motoru pro požadované rychlosti a zatížení vozidla potřebám provozu pomocí převodových stupňů

Na převodech v převodové skříní dochází také ke ztrátám na stálém převodu rozvodovky, ale i na ostatních převodových stupních, způsobeným třením. Ztráty se snažíme eliminovat převodovým olejem, jeho kvalitou, hlavně však konstrukcí převodovky pro daný typ vozidla, což má velký vliv na spotřebu paliva. Charakteristika motoru a převodů 4. stupňové převodovky vzhledem k rozložení přeneseného výkonu je vidět na Obr. 5. Můžeme zde krásně pozorovat, jak se jednotlivé stupně dělí o výkon motoru a využívají jeho celkový výkon.

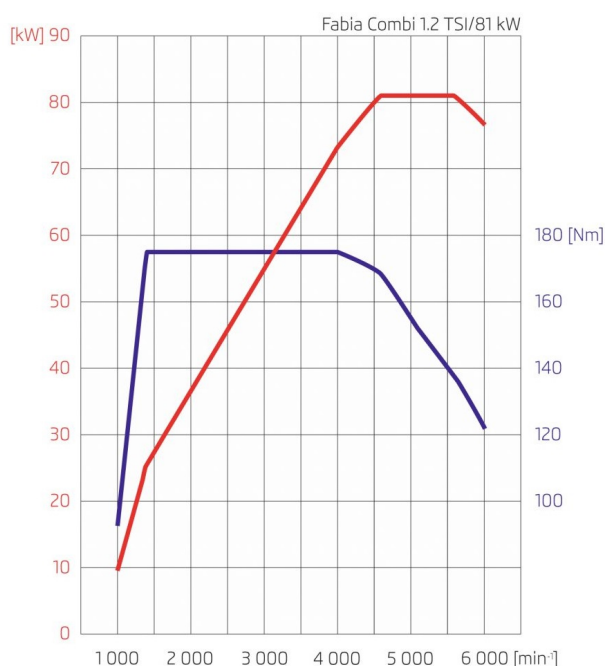


Obr 9. Porovnání charakteristiky motoru se 4. stup. převodovkou. [21, s. 55]

3.4.1 Převodový poměr - i , jednotlivé stupně a kroutící moment - M

Technické údaje	1,0 MPI/55 kW	1,2 TSI/66 kW	1,2 TSI/81 kW
Pohon	pohon předních kol		
Spojka	třecí suchá, hydraulicky ovládaná jednodetoučová, s talířovou pružinou a bezazbestovým obložním		
Převodovka	mechanická pětistupňová, plně synchronizovaná		mechanická šestistupňová, plně synchronizovaná
Převodové stupně	I-3,64 II-1,95 III-1,27 IV-0,96 V-0,80 Z-3,62	I-3,77 II-1,95 III-1,28 IV-0,93 V-0,74 Z-3,18	I-3,62 II-1,95 III-1,28 IV-0,93 V-0,74 VI-0,61 Z-3,18
Stálý převod	4,812	3,625	3,933

Obr. 10 Technické údaje Škody Fabia[5]



Obr. 11 Výkonová a momentová charakteristika Škody Fabia[6]

U Fábie 1.2 TSI (s přeplňovaným motorem) je kroutící moment při 1400 – 4000 ot/min $M_k=175$ Nm s výkonem 81 kW při 4600 — 5600 ot/min o hmotnosti 1129 kg

$P = M \cdot \frac{\omega_{\text{otacky}}}{9549} = 170 \cdot \frac{4600}{9549} \approx 81,9 \text{ kW}$ $P = 175 \cdot \frac{4000}{9549} \approx 73,3 \text{ kW}$ z grafu odečtené hodnoty, (jedná se o výstupní výkon z motoru – příkon, na převodovce se zmenší o ztráty třením, výstupní výkon z převodovky by byl ve skutečnosti o tyto ztráty menší) Rozvodovka má stálý převod u 1 až 6 + zpátečka $i = 3,933$. Celkový převodový poměr pro 1 rychlost bude celkem $i = 3,933 \cdot 3,62 \approx 14,237$, kroutící moment motoru $M = 175$ Nm se vynásobí celkovým převodovým poměrem pro 1. rychlostní stupeň 14,237 a tím se zvětší na hodnotu kroutícího momentu převodovky

$$M_k = i \cdot M = 14,237 \cdot 175 = 2491,475 \text{ Nm}$$

Otáčky vycházející z motoru se ale zmenší díky převodovému poměru a to na $4600/14,237 \approx 323,102$ ot./min.

$$P = M_k \cdot \frac{\text{otacky}}{9549} = 2491,475 \cdot \frac{323,102}{9549} \approx 84,3 \text{ kW tj. výstupní výkon na kola z převodovky}$$

3.5 Dynamická charakteristika vozidla

Pokud přivedeme na hnací kola vozidla určitý výkon, odečteme od něho dříve zmíněné jízdní odpory, můžeme i pro rozdílné hmotnosti vozidel porovnávat jejich výkonnostní vlastnosti. Předpokladem je však vytvořit pro jednotlivá vozidla stejné podmínky, tzn. rychlostní charakteristice motoru odpovídající rychlost, rychlostní stupeň a zatížení vozidla. Takto získané informace nám pomohou vytvořit dynamickou charakteristiku daného vozidla.

Chceme-li porovnávat různé osobní automobily vzhledem k jejich hnací síle a jízdním odporům, musíme započítat i jejich hmotnost.

Odečtením měrného vzdušného odporu O_v od měrné hnací síly p_k dostaneme měrnou hnací sílu vozidla p_h [21, s. 64].

$$p_h = p_k - o_v = o_f + o_s + o_z + o_\psi$$

$$\text{měrná hnací síla} \quad p_{km} = \frac{F_k}{G}$$

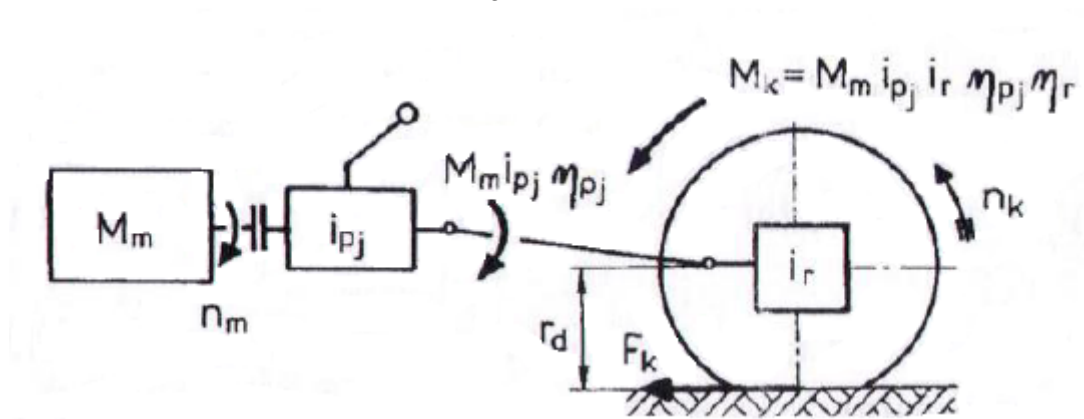
$$\text{měrný valivý odpor} \quad o_{fm} = \frac{o_f}{G} = f \cdot \cos \alpha \simeq f$$

$$\text{měrná odpor stoupání} \quad o_{sm} = \frac{o_s}{G} = \pm \sin \alpha \simeq \pm s$$

$$\text{měrný vzdušný odpor} \quad o_{vm} = \frac{o_v}{G} = c_x \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S_x \cdot \frac{v_x^2}{G}$$

$$\text{měrný odpor zrychlení} \quad o_z = \frac{o_z}{G} = \vartheta \cdot \frac{a_x}{g}$$

$$\text{měrný odpor vozovky} \quad o_\psi = \frac{o_f + o_s}{G} = f \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha \simeq f \pm s$$



Obr 12. Přenos hnacího momentu na hnací kola vozidla (mechanická převodovka) [21, s. 58]

Budeme předpokládat, že vozidlo jede konstantní rychlostí a nezrychluje $a_x = 0$

$$O_z = \vartheta . m . a_x = 0$$

síla na hnacích kolech bude

$$F_k = O_f + O_v + O_s + O_z$$

$$F_k - O_v = O_f + O_s$$

$$F_k - O_v = f . G . \cos \alpha + G . \sin \alpha$$

$$\frac{F_k}{G} - \frac{O_v}{G} = f . \cos \alpha + \sin \alpha$$

$$p_h = p_k - o_v = f . \cos \alpha + \sin \alpha (\sin \alpha \simeq \tan \alpha = s = \textit{stoupavost})$$

$$s = \frac{p_h \cdot \sqrt{p_h^2 - f^2 + 1} - f}{p_h^2 + 1}$$

$$a_x = g . \frac{p_k - f - o_v - s}{\vartheta}$$

Kapitola 4

Návrh aplikace

Aplikace dovoluje blíže nahlédnout do světa automobilů a jejich jízdní dynamiky. Program je rozdělen do dvou simulačních modelů, modelu akcelerace, jinými slovy zrychlení, a modelu brzdění.

4.1 Rozbor k metodám a prostředkům

Simulace je snaha o napodobení nějakého děje, stavu, či procesu. Simulace jako taková pracuje s výpočetním modelem, který je simulačním základem. Model popisuje ať už reálnou, či pouze hypotetickou situaci svými vzorci, definovaným chováním a rozhodováním. Simulační model je tedy řád resp. pravidla simulace. Simulace pak tento model využívá za účelem získání výsledných hodnot z napodobené situace, stavu, či procesu.

Pro účely modelování a simulace existují programy či knihovny, které mají za úkol je zjednodušit a přiblížit tím tedy skutečnou podstatu simulací, tedy získávání a ověřování dat. Jsou jimi například Matlab a jeho nadstavba Simulink pro účely modelování a simulací, Dymola – simulační a modelovací prostředí, založené na simulačním jazyce Modelica, nebo Simlib – knihovna, umožňující vytvářet simulační modely přímo v programovacím jazyce C++.

4.1.1 Matlab & Simulink

Matlab je nástroj s prvky interaktivního prostředí, umožňující různé technické, i vědecké výpočty, analýzu dat, vizualizaci a vývoj algoritmů. Jazyk Matlabu podporuje vektorové i maticové operace, příkazy mohou být spouštěny sekvenčně v reálném čase, tedy umožňuje okamžitě vracet výsledky. Tento princip poskytuje možnost zkoumat více přístupů a dospět k optimálnímu řešení. Pro automatizaci Matlab nabízí vytváření scriptů a funkcí, dále pak nejrozličnější vývojové nástroje k usnadnění optimalizace algoritmů [1].

Simulink je jak je zmíněno výše, nástavba pro prostředí Matlab, umožňující tvorbu simulací a modelování dynamických systémů. Umožňuje uživateli vytvářet modely dynamických soustav ve formě blokových schémat [2].

4.1.2 Modelica

Modelica je simulační jazyk pro simulace dynamického chování komplexních systémů. Je to jazyk, který je objektový, vizuální a akauzuální – jazyk založený na rovnicích. Obsahuje velké množství nejrozličnějších knihoven jako například PowerSystems – pro simulace elektrických zdrojů, nebo Hydro Power Library – pro simulace vodních elektráren. Dymola je prostředí pro tvorbu simulací v jazyce Modelica [3].

4.1.3 Princip simulace

Simulace je vhodné použít v takových případech, kdy neexistuje přesný matematický popis pro řešení matematického modelu, analytické metody jsou dostupné pouze teoreticky, modelování na počítači usnadní provádění experimentů, nebo potřebujeme měnit časové měřítko [18, s. 16].

Základem každé simulace je analýza problému. Na začátku je nutné ujasnit si jaký problém nás zajímá a sehnat veškeré potřebné znalosti a informace o zkoumané problematice. Po analýze je zapotřebí vytvořit abstraktní model na základě získaných poznatků z předchozí analýzy. Abstraktní model je tedy formulace zjednodušeného popisu systému, abstrahujícího od všech nedůležitých skutečností, vzhledem k cíli a účelu modelu. Z abstraktního modelu je nutné potom vytvořit simulační model, který je stejný jako abstraktní model, pouze je zapsaný ve formě programu [18, s. 42,43].

Verifikace a validace jsou dalšími důležitými procesy v oblasti modelování a simulací. Verifikací simulačního modelu ověřujeme, zda abstraktní model odpovídá simulačnímu modelu [18, s. 36]. Abstraktním modelem rozumíme zjednodušenou formulaci popisu zkoumaného problému. Validací se nazývá proces zkoumání, že skutečně pracujeme s modelem adekvátním modelovanému systému [18, s. 37].

Experimentováním se simulačním modelem (obměnou parametrů simulačního modelu) získáme výsledná data jako výsledek simulace.

4.2 Model zrychlení

První polovinou aplikace je model zrychlení (anglicky acceleration model). Jedná se o simulační program, který ze zadaných hodnot propočítává jízdní odpory vozidla v závislosti na nastavení. Do zadaných hodnot spadají údaje o vozidlu:

- hmotnost vozidla
- poloměr kola
- maximální rychlost
- typ vozidla (tvar karoserie)
- výkon vozidla při jakých otáčkách
- počet převodových stupňů
- stálý převodový poměr a převodové poměry jednotlivých rychlostních stupňů

Toto nastavení poskytne programu nezbytné informace pro výpočty jízdní dynamiky vozidla. Simulace chování vozidla je pouze jedním směrem. Vůz stojí na počáteční pozici a po startu programu se začne rozjíždět. Hned po startu začnou na vozidlo působit všechny jízdní odpory, které vozidlu rozjezd komplikují. Velikost, popřípadě i jejich existence závisí na nastavení vozovky, která je ideální, tedy je rovná, nemá žádné defekty ani hrboly. V podstatě se jedná o vozovku s dokonalým povrchem, která je po celou dobu nakloněna pod úhlem α . Pokud je úhel stoupání vozovky kladný, jedná se o jízdu do kopce, v opačném případě se jedná o jízdu z kopce. Mezi parametry nastavení vozovky patří:

- náklon vozovky
- povrch vozovky

Dalším nastavením jsou povětrnostní podmínky. V okamžiku, kdy automobil začne nabírat rychlost, na něj začnou působit síly odporu vzduchu. V simulačním programu uvažujeme ideální povětrnostní podmínky a sice konstantní teplotu vzduchu a konstantní rychlost i směr proudění vzduchu. Na rozjíždějící se automobil tak působí odpor daný povětrnostními vlivy, ale i jeho rychlost samotná. Čím automobil jede rychleji, tím je odpor proudění vzduchu větší. Z tohoto důvodu mají sportovní automobily upravenou karoserii tak, aby se odpor vzduchu daný povětrnostními vlivy i odpor vzduchu daný rychlostí co nejlépe překonaly. Je tedy zřejmé, že na kamion, který má vpředu kabinu kolmou a prostorově větší, působí mnohem větší odpor vzduchu než na osobní, či sportovní automobil. Tvar karoserie, který jsem uvedl výše je tedy dalším důležitým parametrem pro simulaci povětrnostních podmínek. Nastavením povětrnostních vlivů je tedy:

- rychlost větru působící na vozidlo proti směru jeho pohybu
- venkovní teplota
- tvar karoserie vozidla (již výše uvedený)

Po nastavení všech nutných údajů o vozidle, vozovce, i povětrnostních podmínkách je ještě potřeba zadat nastavení simulace. Jejími parametry jsou ukončení, krokování, název a umístění souboru s výstupními daty. Ukončení simulace zrychlení je možné několika způsoby:

- dráha - simulace se ukončí po ujeté vzdálenosti
- čas - simulace se ukončí po uplynulém čase
- rychlost - simulace se ukončí po dosažení předvolené rychlosti
- konečná rychlost - simulace se ukončí po dosažení maximální rychlosti

Krokování je parametr, který určuje přesnost, ale ovlivňuje společně s nastavením ukončení simulace i dobu běhu programu. Protože zaznamenáváme informace v čase, je časová osa tou hlavní, podle které celou výslednou simulaci porovnáváme. Změnou parametru krokování simulace se upravuje inkrementační hodnota časové jednotky a tím tedy krok (posun)

na časové ose. Menší krok znamená přesnější údaje, grafy budou plynulejší, ale doba běhu bude o to větší. Delší krok naopak znamená, že se simulace provede rychle, což se ale promítne na přesnosti grafů a výpočtů. Ideálním krokem je hodnota 0.1 – 0.5s.

Aplikace zobrazuje rychlý náhled v průběhu simulace v podobě grafu. V případě modelu zrychlení se jedná o graf závislosti rychlosti na čase.

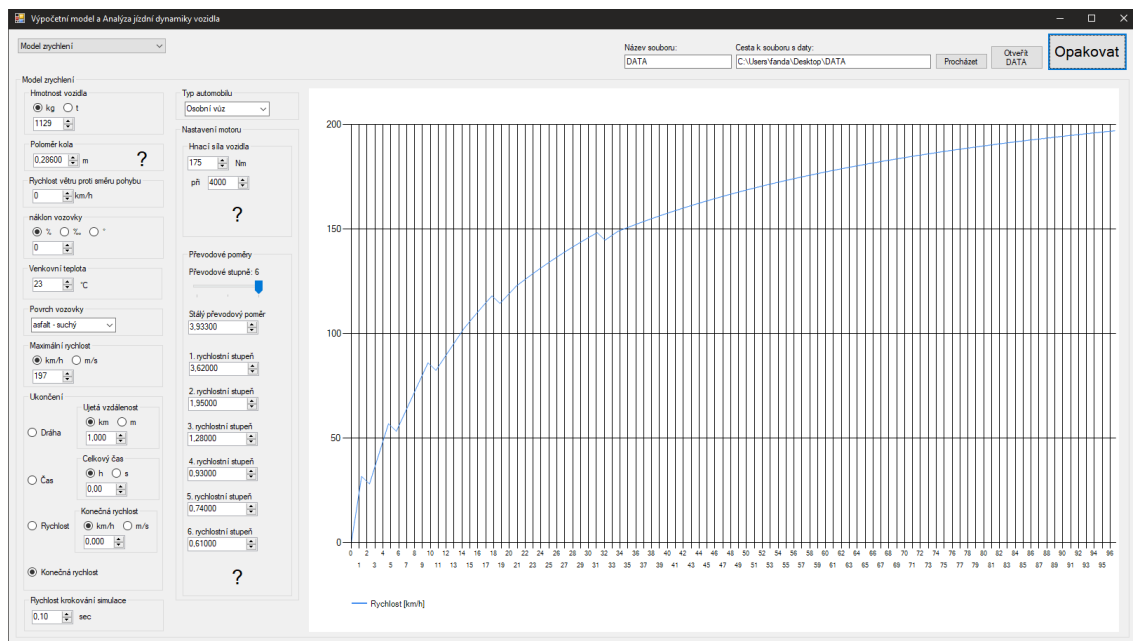
Hodnoty získané výpočty v jednotlivých krocích simulace jsou zaznamenávány do souboru, jehož název si může uživatel pohodlně zvolit. Výchozí název souboru je "DATA" a jeho umístění se nachází složce projektu. Do souboru s příponou .xlsx (určená pro aplikaci Microsoft Office Excel) se ukládají v každém momentu kroku simulace proměnné, jejichž hodnota nějakým způsobem ovlivňuje vozidlo. Do souboru se zaznamenávají:

- čas
- rychlost
- zrychlení
- dráha
- rychlostní stupeň
- síla vzdušného odporu
- síla valivého odporu
- síla odporu stoupání
- síla odporu zrychlení
- síla automobilu s ohledem na zařazený rychlostní stupeň

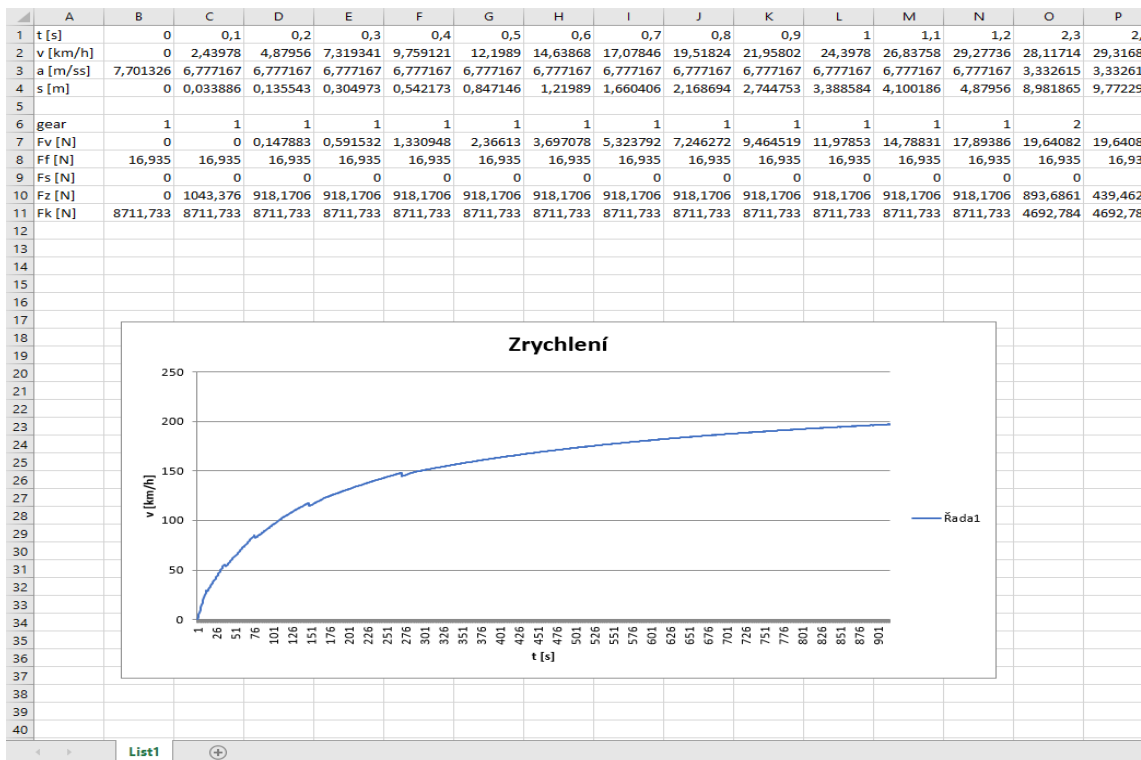
V souboru lze dále najít graf závislosti rychlosti na čase.

4.2.1 Model zrychlení – graficky

Pohled na aplikaci po dokončení běhu simulace modelu zrychlení.



Obr. 13 Dokončená simulace modelu zrychlení Škody Fabia 1.2 TSI (81kW)



Obr. 14 Dokončená simulace modelu zrychlení – data Škody Fabia 1.2 TSI (81kW)

4.3 Model brzdění

Druhou polovinu aplikace tvoří model brzdění (anglicky breaking model). Podobně jako model zrychlení propočítává jízdní odpory v závislosti na okolí pouze s tím rozdílem, že se nejedná o rozjezd, ale o zastavení vozidla. Uvažujeme, že se automobil pohybuje určitou rychlostí. V momentě startu simulace, tedy když řidič sešlápl brzdový pedál, uvažujeme, že řidič již vyřadil rychlostní stupeň. Parametry vozidla, které je nutné zadat jsou:

- hmotnost vozidla
- typ vozidla
- počáteční rychlost vozidla
- brzdící účinnost vozidla

Každý z těchto nastavených parametrů nadále ovlivňuje simulaci brzdění. Pro nastavení tlaku sešlápnutí brzdového pedálu slouží TrackBar, díky kterému je možné sílu stisku nastavit.

Nastavení parametrů vozovky je stejně důležité jako u modelu zrychlení. Vozovka hraje při brzdění vozidla velkou roli. Adhezní podmínky, které vozovka má, mohou vozidlo pomoci zastavit, nebo naopak mohou celou situaci brzdění znesnadnit. V modelu brzdění ovšem nebereme v úvahu smyk. Maximální brzdící síla je tedy velká pouze tak, aby k této situaci nedošlo.

Nastavení vozovky je:

- náklon vozovky
- povrch vozovky

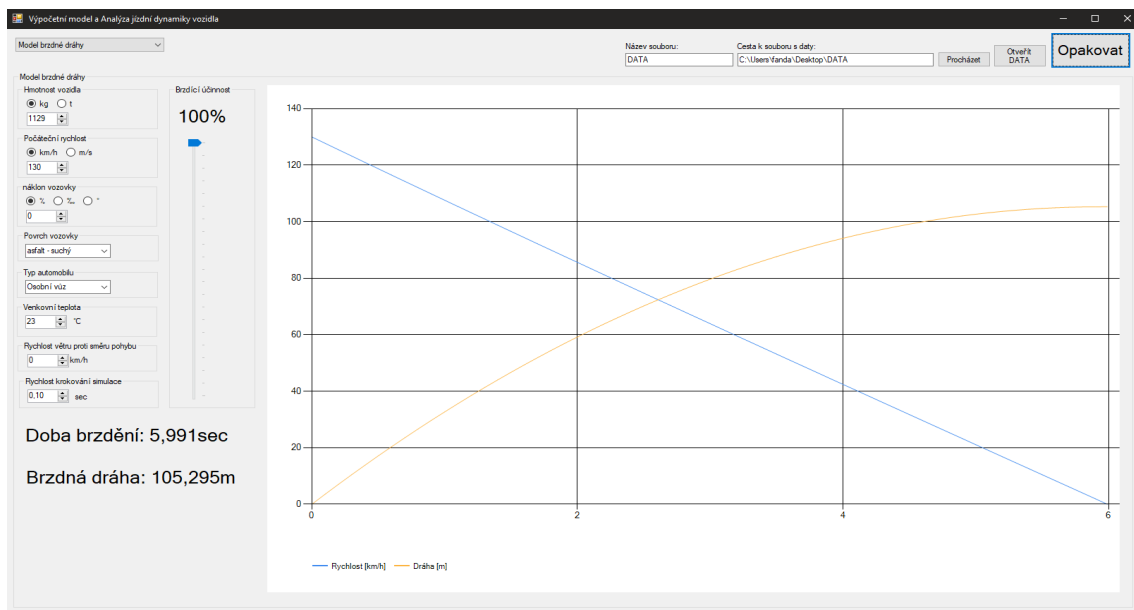
Klimatické podmínky mají také výrazný vliv na výsledky simulace. Působení větru může mít na brzdění pozitivní, ale i negativní dopad. U směru větru rozhodneme zdali pomáhá automobil zastavit (vane protivítr), nebo brzdění znesnadňuje (vítr vane po směru jízdy). Síla větru, tvar karoserie, i venkovní teplota, která udává hustotu vzduchu jsou dalšími kritickými parametry ovlivňujícími zastavení vozidla.

- venkovní teplota
- rychlost větru vanoucího proti směru pohybu vozidla
- tvar karoserie daný typem vozidla (nastavení vozidla)

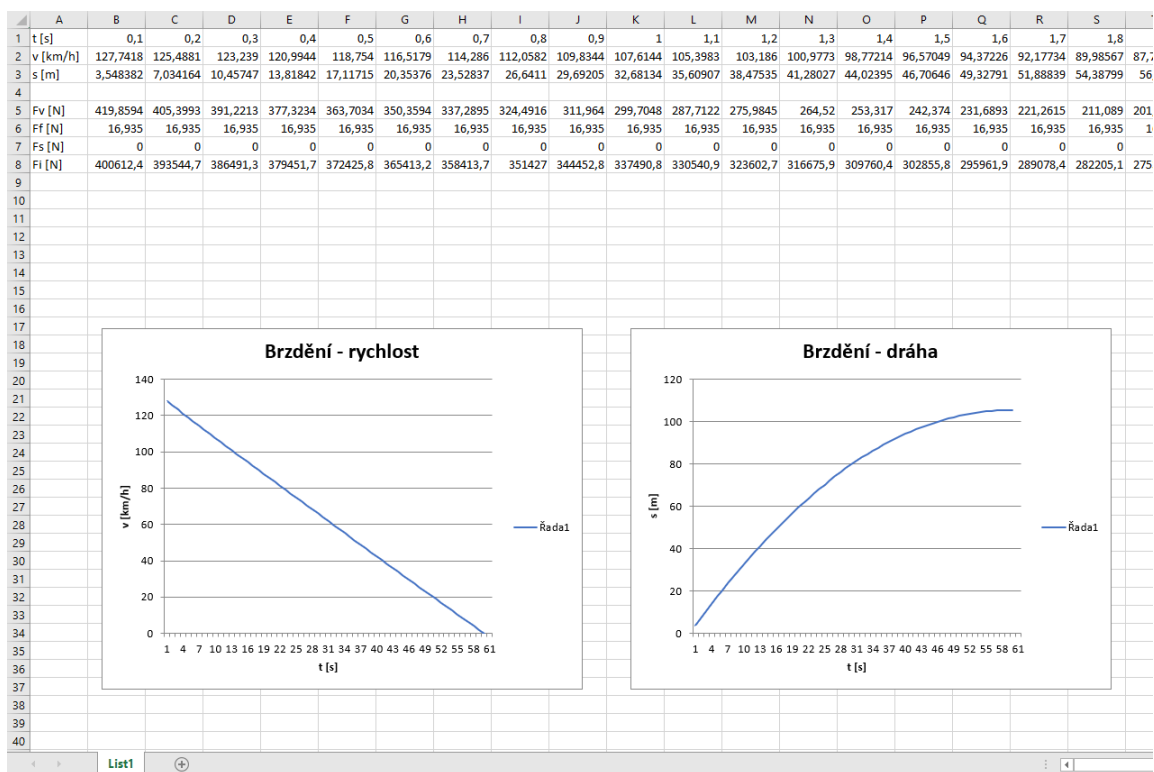
Krokování simulace je stejného principu jako u modelu zrychlení. Hlavní linií je časová osa, na které pozorujeme rychlost jak automobil zpomaluje, a dráha kterou automobil při brzdění ujede. Brzdná dráha je jedním z hlavních faktorů, na který se při nehodách přihlíží. Ukončením simulace je až úplné zastavení automobilu. Výsledné hodnoty se zobrazí pod nastavením a průběh celého běhu simulace lze sledovat na grafu v náhledu nebo v souboru s průběžně nasbíranými daty během simulačního běhu. Nastavení cesty k souboru je stejné, jako tomu bylo u modelu zrychlení. Graf náhledu simulace brzdění na rozdíl od modelu zrychlení obsahuje dvě linie, vynáší se na ně sledovaná rychlost a ujetá vzdálenost v čase.

4.3.1 Model brzdění – graficky

Pohled na aplikaci po dokončení běhu simulace modelu brzdění.



Obr. 15 Dokončená simulace modelu brzdění Škody Fabia 1.2 TSI z rychlosti 130km/h



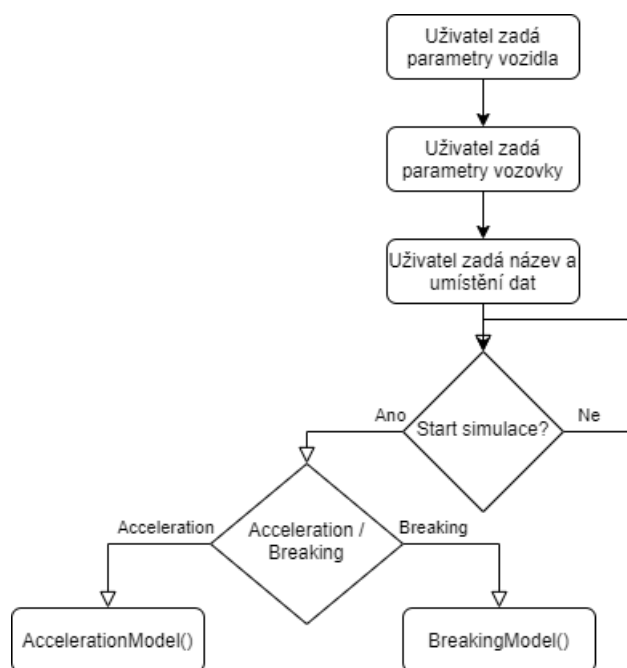
Obr. 16 Dokončená simulace modelu brzdění – data Škody Fabia 1.2 TSI z rychlosti 130km/h

Kapitola 5

Popis implementace

Aplikaci jsem vyvíjel ve vývojovém prostředí Visual studio 2019 od společnosti Microsoft v programovacím jazyce C#. Aplikace slouží pro výpočet orientačních hodnot jízdních odporů zvolených automobilů.

Po zadání potřebných dat se spustí běh simulace. Následují funkce spolupracují pro získání výsledků.



Obr. 17 Zjednodušený vývojový diagram aplikace

5.1 Funkce rodiny Get...

Tyto funkce se používají pro vrácení hodnoty zadané uživatelem, nebo k získání hodnot podle zadaných parametrů. Jedná se o načtení hodnot z GUI – grafického rozhraní, jenž uživatel zadal. Například funkce `GetAdhesionCoefficient()`, vrací součinitel valivého odporu podle zvoleného povrchu vozovky.

```

double GetAdhesionCoefficient()
{
    switch(comboBox5.SelectedIndex)
    {
        default:
        case 0: //asphalt - dry
            return 0.6;
        case 1: //asphalt - wet
            return 0.45;
        case 2: //concrete
            return 0.8;
        case 3: //pavement
            return 0.6;
        case 4: //macadam
            return 0.6;
        case 5: //dirt road - dry
            return 0.4;
        case 6: //dirt road - wet
            return 0.3;
        case 7: //grass
            return 0.4;
        case 8: //deep sand
            return 0.2;
        case 9: //fresh snow
            return 0.2;
        case 10: //mud
            return 0.2;
        case 11: //ice
            return 0.14;
    }
}

```

Obr. 18 Náhled funkce GetAdhesionCoefficient()

5.2 Funkce rodiny Count...

Tyto funkce jsou na vyšší úrovni než rodina funkcí Get.... Jejich úkolem je vypočítat hodnoty z nasbíraných dat od funkcí Get.... Každá z nich má své specifické určení a může žádat některou funkci z rodiny Get... o doplňující data. Výsledná hodnota se následně vrátí funkci, která o něj požádala. Příkladem je funkce CountRollingresistance(), sloužící v obou modelech pro výpočet valivého odporu vozidla.

```

double CountRollingResistance(double m, double alpha)
{
    double trackConstant = GetTrackConstant();
    return trackConstant * m * Math.Cos(alpha*Math.PI/180);
}

```

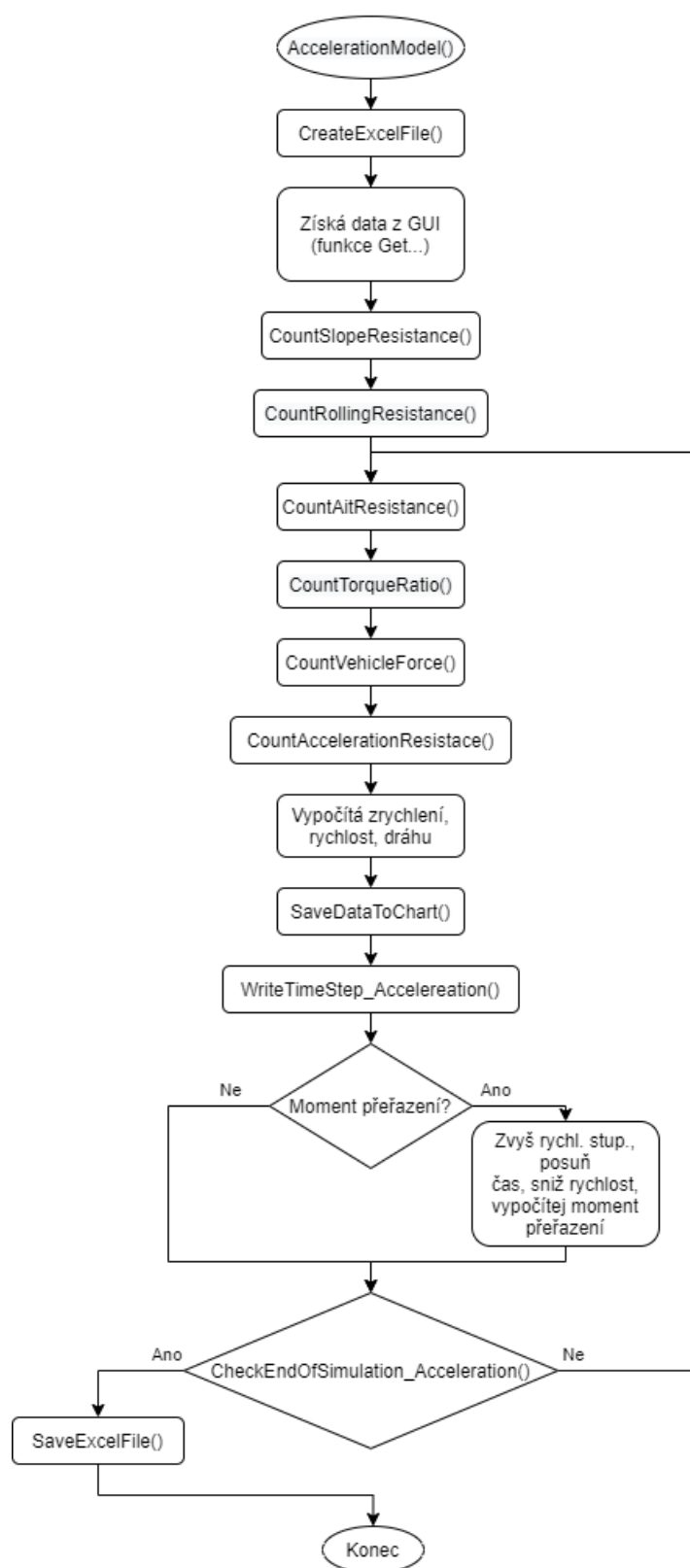
Obr. 19 Náhled funkce CountRollingresistance()

5.3 Funkce AccelerationModel()

AccelerationModel() je jedna ze dvou základních funkcí, které jsou pilířem pro celou aplikaci. Tato funkce se spustí při startu simulace s výběrem modelu zrychlení. Na svém počátku dochází k deklaraci a inicializaci všech svých proměnných pro následující výpočty, při tom volá některé z funkcí Get.... Po naplnění proměnných se vypočítají odpory vozi-

dla, konstantní v čase, popř. rychlost, při které se má přeradit na vyšší rychlostní stupeň, pro tento účel slouží vybrané funkce z rodiny `Count...`. Následuje smyčka běhu simulace a spuštění simulace jako takové.

Dále se dopočítají jízdní odpory proměnné v čase, proto je nutné je počítat v každém kroku simulace. Jedná se o odpor vzduchu vzrůstajícího společně s rychlostí a odpor zrychlení závisující na zrychlení vozidla. Dalším výpočtem je točivý moment vozidla. Točivý moment vozidla závisí na zařazeném rychlostním stupni měnícím se v čase. Ze získaného točivého momentu se vypočítá síla vozidla a následně zrychlení. Zrychlení je ovlivněno jízdními odpory, tudíž je nutné všechny uvést se správným znaménkem. Při zrychlování jsou hodnoty negativně ovlivňující akceleraci vozidla kladné a hodnoty pozitivně ovlivňující záporné. Po dosazení do vzorečku se znaménka otočí podle dat a vychází tak skutečné zrychlení vozidla. Rychlost a dráha je už tedy jen posledními výpočty v kroku simulace. Po jejich získání se data uloží do souboru s výstupními daty a do náhledu v aplikaci. V předposlední fázi se kontroluje, není-li aktuální rychlost vyšší než vypočítaná rychlost pro moment přeřazení. Pokud ano, zvýší se rychlostní stupeň, sníží se rychlost o nastavenou hodnotu poklesu rychlosti při řazení a posune se čas o hodnotu délky řazení. Jako poslední se provádí kontrola, zda simulace nedosáhla svého konce. Tento krok je blíže specifikovaný v kapitole **Funkce `CheckEndOfSimulation_Acceleration()`**. Smyčka simulace se opakuje, dokud funkce `CheckEndOfSimulation_Acceleration()` nedá pokyn k ukončení.



Obr. 20 Zjednodušený vývojový funkce AccelerationModel()

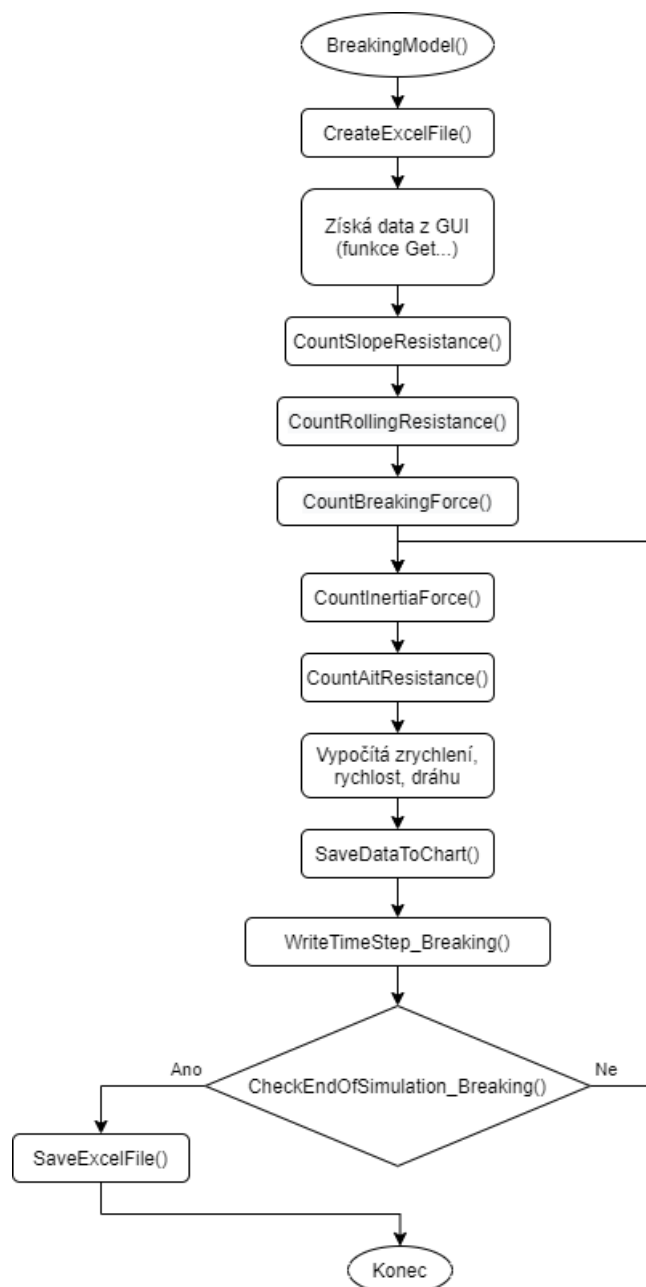
5.4 Funkce `BreakingDistanceModel()`

Druhou hlavní funkcí aplikace je `BreakingDistanceModel()`. Pokud uživatel zvolí model brzdění, je tato funkce tou, jenž provádí simulaci daného modelu. Při spuštění se jako u **Funkce `AccelerationModel()`** začne s deklarací a inicializací proměnných potřebných pro výpočty. Některé z inicializací mají na starost **Funkce rodiny `Get...`**. Po získání všech potřebných hodnot a naplnění proměnných se opět počítají jízdní odpory konstantní v čase. K jejich výpočtu se užívají **Funkce rodiny `Count...`**. Na tomto místě přibyl ještě jeden výpočet a to brzdná síla. Výpočet brzdné síly vrací hodnotu podle nastaveného posuvníku odpovídajícímu sešlápnutí pedálu a maximální brzdné síle, při které ještě nedojde ke smyku. Následuje smyčka simulačního běhu programu. Na začátku každého kroku – jedné smyčky se vypočítají jízdní odpory měnící se v čase. Po získání výsledků výpočtů je nutné provést výpočet síly vozidla a následně vypočítat i jeho rychlost. Následující podmínka je kontrolou pro dokročování v okamžiku, kdy se rychlost blíží 0.

```
//end steps to reach speed 0 m/s
if(v < 0 && step > 0.0001)
{
    t -= step;
    step /= 10;
    v = last_v;
    print = false;
    continue;
}
```

Obr. 21 Náhled do podmínky dokročení

Po kontrole jsou na řadě další podmínky sloužící pro správný výpis dat. Posledním krokem je kontrola konce simulace. **Funkce `CheckEndOfSimulation_Breaking()`**, rozhoduje o tom, zda se simulační smyčka přeruší, nebo se pokračuje do dalšího kroku.



Obr. 22 Zjednodušený vývojový funkce `BreakingDistanceModel()`

5.5 Funkce `CheckEndOfSimulation_Acceleration()`

V průběhu běhu simulace je potřeba kontrolovat, zda-li se již nedosáhlo konečných hodnot. O tyto kontroly se stará funkce `CheckEndOfSimulation_Acceleration()`, prověřující v každém kroku, zda se simulační běh nemá ukončit. U modelu zrychlení je několik kritérií, podle kterých si může uživatel zvolit konec simulace.

Je to:

- dosažená dráha – ujetá vzdálenost
- uplynulý čas
- dosažená rychlost – libovolná zvolená rychlost (nižší než maximální rychlost vozidla)
- konečná rychlost vozidla zadaná uživatelem

5.6 Funkce `CheckEndOfSimulation_Breaking()`

Pro model brzdění se používá funkce `CheckEndOfSimulation_Breaking()`, kontrolující pouze rychlost vozidla z modelu brzdění zda není nulová a vozidlo tedy již nestojí. Opět je tato funkce nezbytná pro ukončení smyčky simulačního běhu.

5.7 Funkce rodiny Excel

Funkce z rodiny Excel jsou nepostradatelné, jestliže si přejeme ukládat data do souboru typu `.xlsx`. Nachází se mezi nimi funkce pro otevření/vytvoření nového souboru, funkce `uložit`, funkce `uložit jako` a další. Mezi hlavní funkce patří:

- `WriteHeader_Acceleration()` – Do souboru se zapíše hlavička tabulky s daty modelu zrychlení pro snadnější pozdější rozpoznání.
- `WriteHeader_Breaking()` – Do souboru se zapíše hlavičky tabulky s daty modelu brzdění pro snadnější pozdější rozpoznání.
- `WriteTimeStep_Acceleration()` – Tato funkce zapisuje časový krok simulace modelu zrychlení do souboru.
- `WriteTimeStep_Breaking()` – Zapíše časový krok simulace modelu brzdění do souboru.
- `DrawChart_Acceleration()` – Spouštění této funkce probíhá až na konci po nasbírání potřebných dat. Z nasbíraných dat vykreslí graf závislosti rychlosti na čase.
- `DrawChart_Breaking()` – Pro spuštění této funkce je opět potřeba nasbírat data ze simulačního běhu, proto se spouští až při ukončování simulace. Ze shromážděných dat vykreslí dva grafy a to graf závislosti rychlosti na čase a graf závislosti dráhy na čase.

Aplikaci Microsoft Office Excel jsem zvolil kvůli jeho jednoduchosti tabulkového processoru, lze v něm jednoduše vytvářet a upravovat grafy i grafové osy.

5.8 Ostatní funkce

Mezi ostatními funkcemi jsou většinou funkce řešící uživatelské rozhraní. Pomáhají správně nastavit rozložení prvků v aplikaci, nebo skrývají nástroje, jenž nemají být vidět. Patří k nim i funkce událostí, volající se při změnách (kliknutí, posunutí) uživatelem.

Kapitola 6

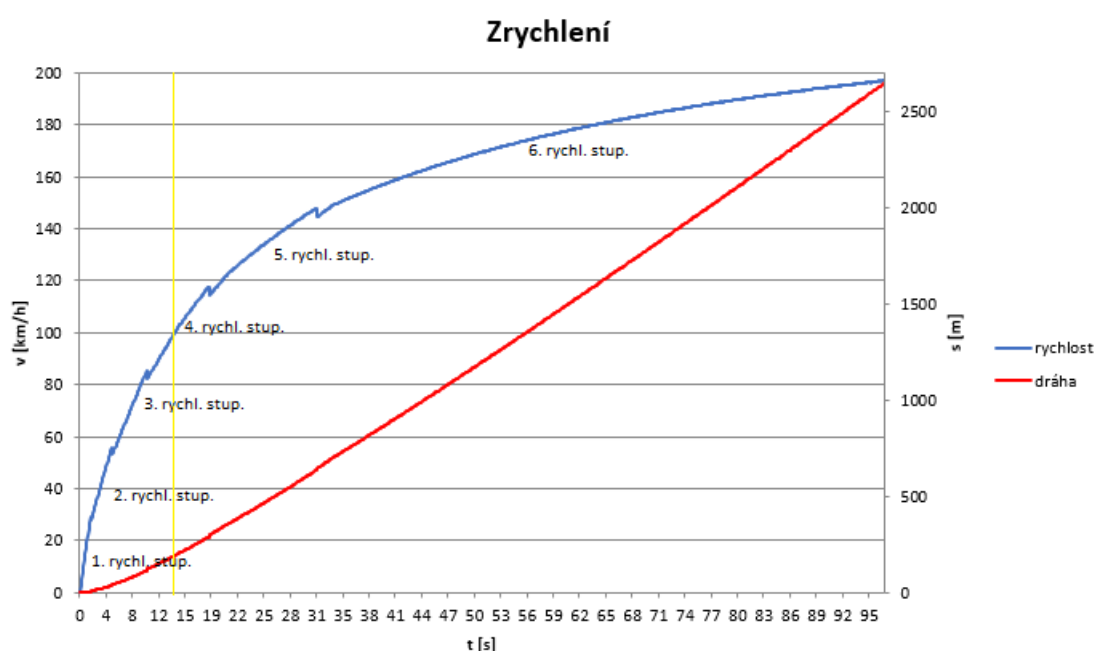
Zhodnocení řešení

V této kapitole se zaměříme na část simulačních dat, které získáme spuštěním simulace. Různými kombinacemi nastavení vozidla, vozovky, povětrnostních podmínek, ale i krokování simulace.

6.1 Model zrychlení

6.1.1 Model Škoda Fabia 1.2 TSI (81kW)

Rozjezd bez zátěže



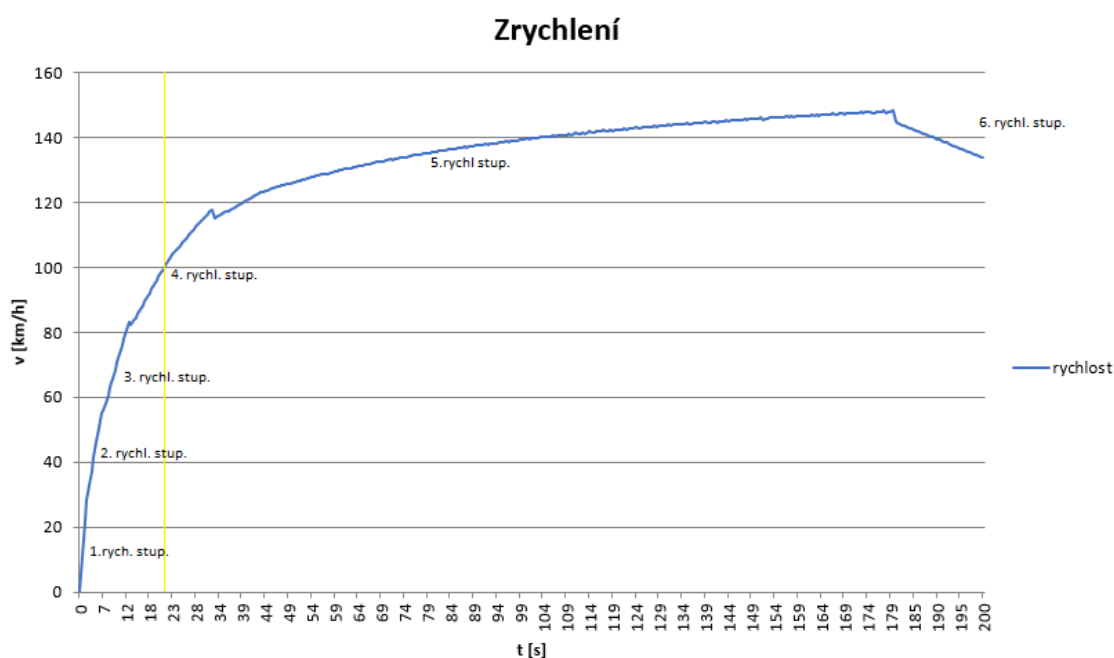
Graf 1. Škoda Fabia 1.2 TSI rozjezd – bez zátěže.

Jako první jsem zvolil model automobilu Škoda Fabia 1.2 TSI (81kW). Údaje o vozidle jsem získal z brožury o Škodě Fabii od výrobce [5]. Nastavení prostředí bylo výchozí, tedy rychlost větru byla nulová (počítalo se pouze s rychlostí vozidla), náklon vozovky byl nulový – rovina, venkovní teplota byla 23°C, povrchem vozovky byl suchý asfalt. Po do-

končení simulace, kdy model Škody Fabia dosáhl své maximální rychlosti jsme získali data a následně graf, ze kterého vyplývá, že se model rozjede na 100km/h za přibližně 14 vteřin. Tato hodnota ovšem není přesná z důvodu úmyslného vnesení zpomalení při řazení na vyšší rychlostní stupeň. Jedná se přibližně o pokles rychlosti 1m/s za dobu 1 vteřiny. Toto zpomalení je zaneseno do dat pro přehlednost v okamžicích, kdy náš modelový řidič řadí na vyšší rychlostní stupeň. Výsledné hodnoty se mohou lišit od těch udávaných výrobcem i díky dalším faktorům. Automobilky testují motory ve zkušebnách na dynamometrech, která jim poskytují data o výkonu a síle motoru při různých otáčkách. Testují se tak nové pouze chvíli zaběhlé motory, které disponují jiným výkonem, než je výkon zaběhlého motoru. Mezi další příčiny patří skutečnost, že ve zkušebnách nepočítají s jízdní dynamikou vozidla. Řazení má na zrychlení automobilu obrovský vliv. Tudíž řazení je další nezanedbatelným faktorem pro získání odpovídající doby zrychlení. Řazení v nižších otáčkách vede k sice lepší spotřebě automobilu, ale také k pomalejšímu zrychlení. Celkové zrychlení udávané výrobcem můžeme brát jako orientační bod v naší jízdní dynamice modelovaného vozu.

Z grafu je patrné, že se na každém rychlostním stupni změnilo zrychlení vozidla. Při nižším rychlostním stupni má vozidlo větší sílu, tudíž dokáže lépe překonávat jízdní odpory i náročnost terénu. V tomto případě jede vozidlo po dokonalé rovině, tudíž je odpor stoupání nulový. Maximální rychlosti vozidlo dosáhne až po 1,5 minutě od jeho startu. Dráha, kterou vozidlo ujede při zrychlování, se mění vždy podle rychlosti. V každý okamžik je rychlost jiná, proto se mění i přírůstek dráhy. V nižších rychlostech je nárůst nižší než ve vyšších rychlostech.

Rozjezd do kopce

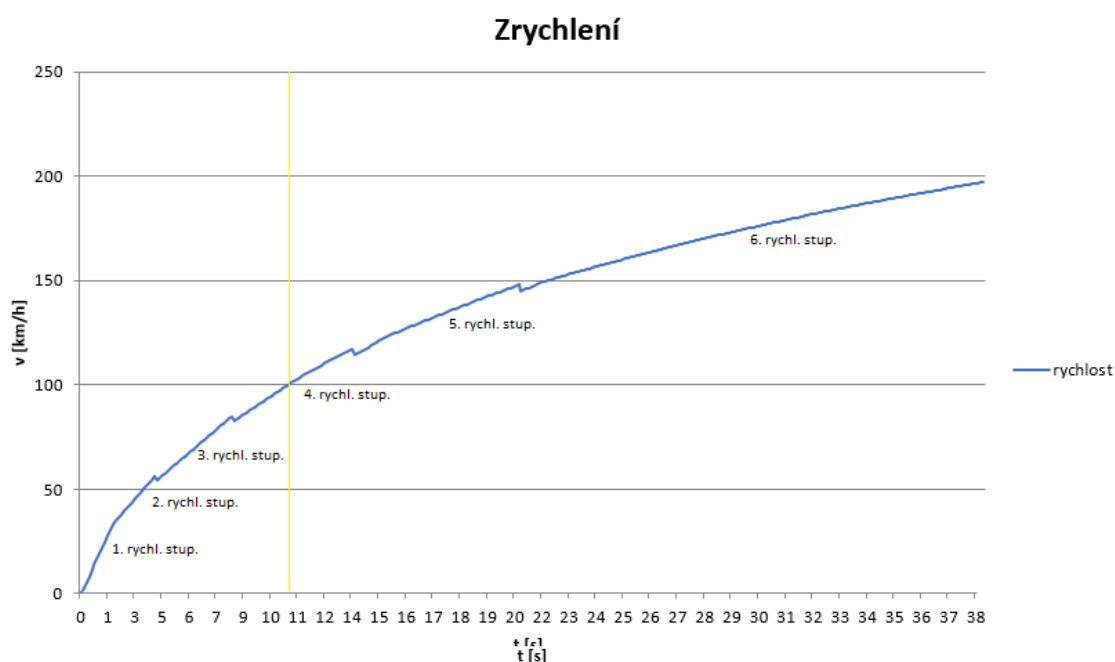


Graf 2. Škoda Fabia 1.2 TSI rozjezd – stoupání.

V další simulaci se testuje model vozidla Škody Fabia do stoupání. Nastavení rychlosti větru proti směru vozidla je 0km/h, náklon vozovky je 10% což tedy znamená, že na 100 metrech vozovky vzroste kopec o 10 metrů. Tento náklon odpovídá $\alpha = 5,71^\circ$. Jak je z

grafu na první pohled patrné, je zrychlení modelu Škody Fabia, nižší než když jela po rovině. Dále si můžeme všimnout, že na 5ti rychlostních stupních rychlost stoupá, ovšem na 6. rychlostní stupeň již není vyhovující. Je to z toho důvodu, že vozidlo nemá dostatečnou sílu k překonání jízdních odporů – hlavně díky odporu stoupání a tak jeho rychlost klesá. V běžném životě by tedy musel řidič podřadit na nižší rychlostní stupeň na který je automobil schopný vrchol překonat. Při jízdě do 10% stoupání se model Škody Fabia rozjede z 0 na 100 km/h za přibližně 21 vteřin, což je výrazně pomalejší než na rovině, jak tomu bylo u prvního pokusu (**Rozjezd bez zátěže**). Simulaci má nastavený konec po 200 vteřinách při délce kroku 0,5 vteřiny.

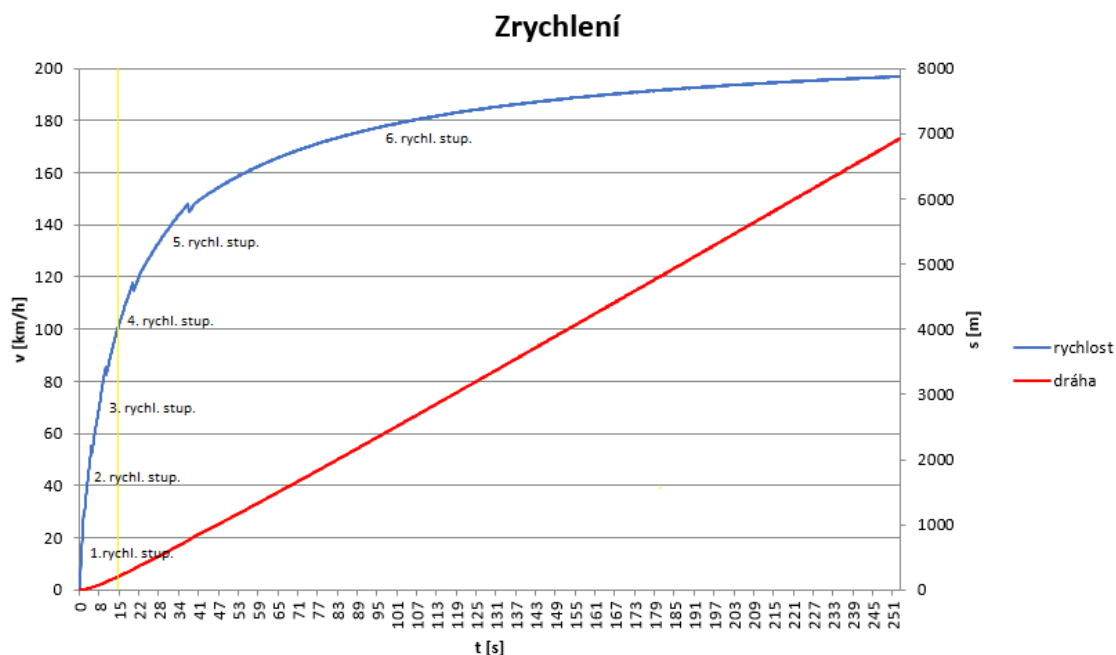
Rozjezd z kopce



Graf 3. Škoda Fabia 1.2 TSI rozjezd – klesání.

Pro tentokrát se simuluje rozjezd vozidla Škoda Fabia z kopce. Nastavení vozovky a povětrnostních vlivů (rychlost větru, teplota vzduchu) jsou stejné jako v předchozí simulaci (**Rozjezd do kopce**) pouze s tím rozdílem, že se model nerozjíždí do kopce, ale z kopce. Nastavení náklonu vozovky z kopce je řešeno zadáním záporného úhlu. Aktuální hodnota náklonu vozovky je tedy -10%. To znamená, že na 100m klesne vozovka o 10m. Tíhové zrychlení v tomto případě modelu pomáhá překonat jízdní odpory a rozjet se. V grafu vidíme, že je zrychlení modelu o 4 vteřiny rychlejší než v případě rozjíždění po rovině (**Rozjezd bez zátěže**) a až o 10,5 vteřiny rychlejší než v případě rozjíždění do kopce. Lze předpokládat, že i čas pro dosažení konečné rychlosti je kratší a to přibližně 2,5x, než jak tomu bylo u první simulace, kdy se model rozjížděl po rovině. Hodnoty rychlosti pro přecházení na vyšší rychlostní stupeň jsou pokaždé stejné, liší se pouze doba, ve které model oné rychlosti dosáhne.

Rozjezd s protivětrém



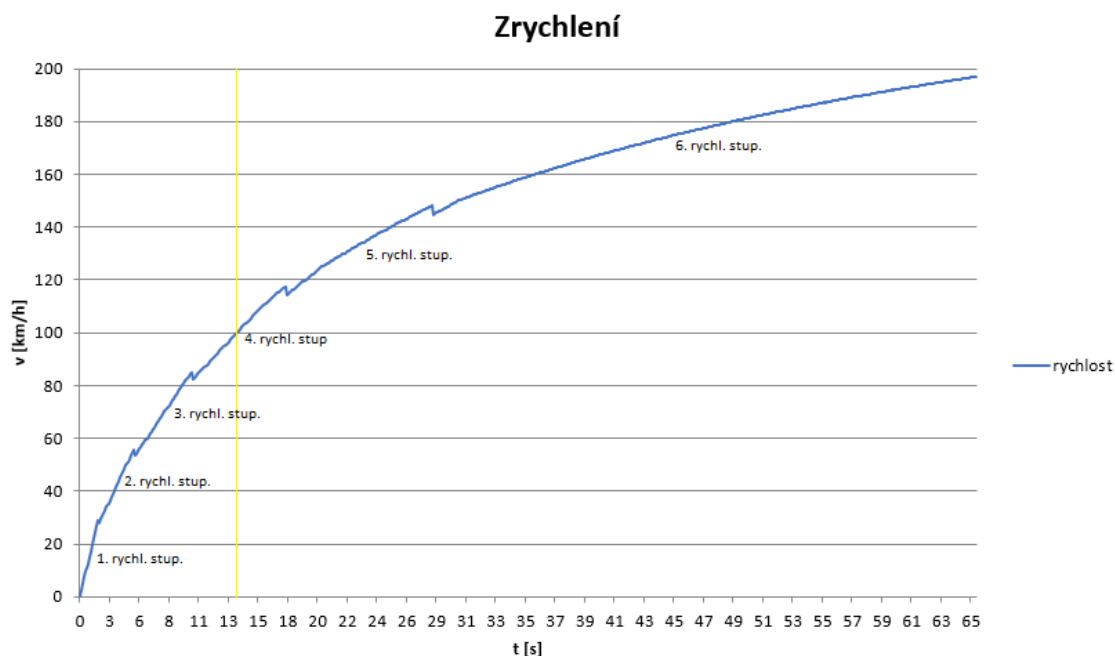
Graf 4. Škoda Fabia 1.2 TSI rozjezd – protivětr.

V této simulaci jsem zvolil simulaci větru vanoucího proti směru jízdy modelu Škody Fabia. Nastavení vozovky je stejné, jako u první simulace (**Rozjezd bez zátěže**). Jedná se o rovnou vozovku (náklon 0%), která má na povrchu suchý asfalt. Teplota vzduchu je stálá, tedy 23°C. Rychlost větru vanoucího proti směru vozidla je 30 km/h, což je podle Beaufortovi stupnice stupeň 5 (čerstvý vítr – listnaté keře se začínají hýbat). I tento nepříliš silný vítr stačí na to, aby se model Škoda Fabia rozjížděl na maximální dosažitelnou rychlost 250 vteřin, což je v porovnání s jízdou za bezvětrí 2,5x větší doba. Když oba grafy porovnáme, zjistíme, že se při nižších rychlostních stupních příliš neliší. Lišit se začnou až od 5. respektive 6. rychlostního stupně. Je to proto, že síla modelu Škoda Fabia je při nižších rychlostech vyšší. Při zařazení vysokého rychlostního stupně totiž automobilu klesnou otáčky vlivem převodových poměrů daných převodovkou, ale také klesne síla vozidla. V běžném životě musí řidič využívat setrvačnosti vozidla, nebo hlídat otáčky vozidla tak, aby automobil neztratil sílu. Otáčky řidič koriguje sešlápnutím plynového pedálu a zařazením odpovídající rychlostního stupně. Jak je zmíněno výše, doba rozjezdu do maximální rychlosti je 2,5x vyšší, takže i ujetá dráha se zvětšila. Pro představu můžeme říci, že při vanoucím větru o rychlosti 30km/h bude model Škody Fabia potřebovat minimálně 7km dráhu pro rozjezd.

Rozjezd po větru

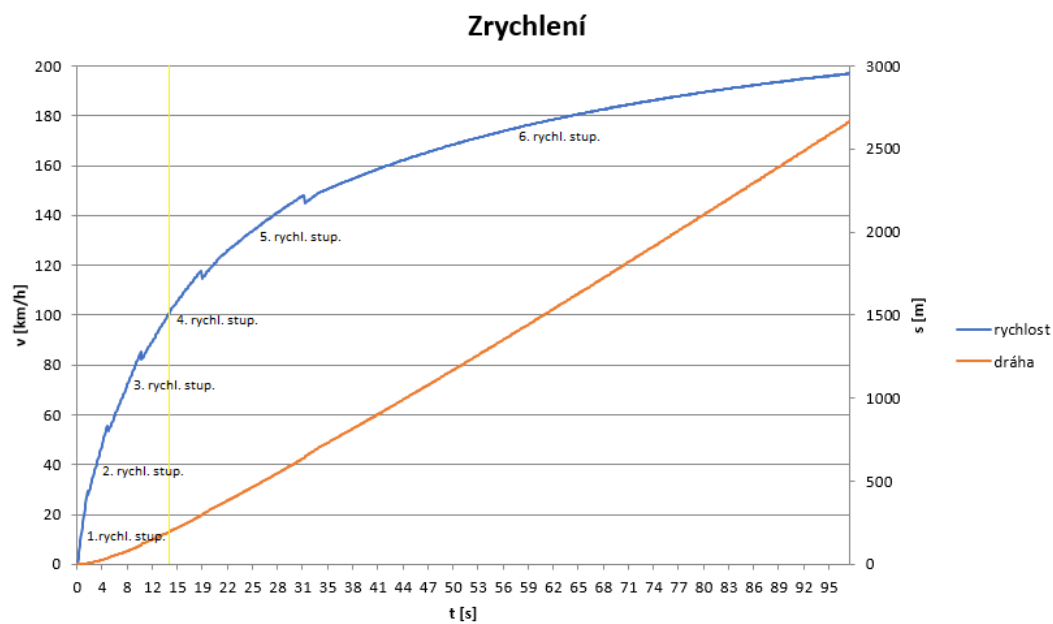
Graf č.5 je výsledkem simulace rozjezdu modelového vozu Škoda Fabia za podmínek vanoucího větru po směru jízdy. Nastavení simulace je následující: Povrch vozovky je suchý asfalt, vozovka je rovná (náklon je 0%), teplota vzduchu je 23°C, rychlost větru vanoucího po směru jízdy modelového vozidla je 30km/h (stupeň 5 na Beaufortově stupnici – čerstvý vítr, listnaté keře se začínají hýbat). Vítr pohybující se ve směru pohybu vozidla, pomáhá zvýšit rychlost vozidla. Proto je na grafu možné poznat jisté zrychlení od bez-

větrí (**Rozjezd bez zátěže**) nacožpak rozdíl od situace, kdy vanul vítr proti směru pohybu vozidla. Konečnou rychlost model vozidla nabere o přibližně 30 vteřin rychleji, než v případě bezvětrí. Rozjezd za situace protivětru (**Rozjezd s protivětrem**), i situace simulace směru větru po směru pohybu modelu vozidla, je s nastavením karoserie na obecný osobní automobil. Kdybychom chtěli povětrnostní podmínky působící na automobil snížit, byla by nutná úprava karoserie tak, aby nekladla takový vzdušný odpor. Příkladem můžou být sportovní automobily. Jejich podvozek je co nejvíce snížený a karoserie aerodynamická, takže je jejich vzdušný odpor malý. Proudění vzduchu dále využívají jako přitlačnou sílu k vozovce, díky tomu je vozidlo schopné projet zatáčku vyšší rychlostí a nedostat smyk. Opakem sportovního automobilu je například kamion či autobus. Jejich karoserie je tvarovaná ne příliš aerodynamicky, ale za účelem úspory místa. Většina těchto vozidel je vpředu rovná, tudíž před sebou tlačí mnoho vzduchu. Z toho vyplývá, že mají velký vzdušný odpor. Konstrukce těchto vozů je navržena pro nepřiliš rychlou jízdu, ale s objemným a těžkým nákladem. Jejich hnací ústrojí je natolik silné a váha vysoká, takže je vzdušný odpor, který na ně působí, poměrově přibližně stejně velký jako u osobního automobilu.

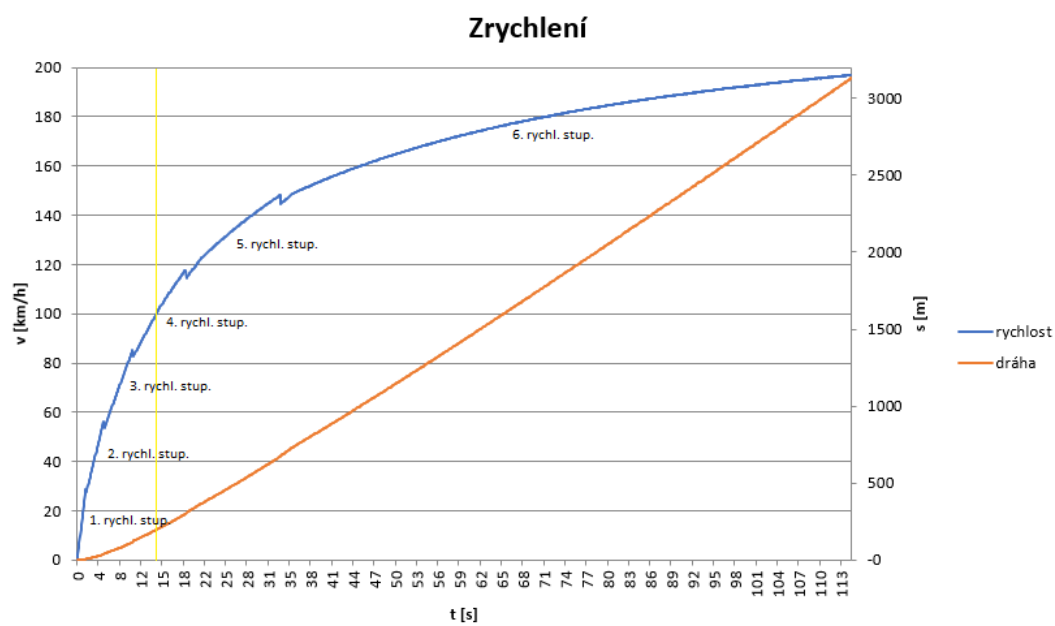


Graf 5. Škoda Fabia 1.2 TSI rozjezd – po větru.

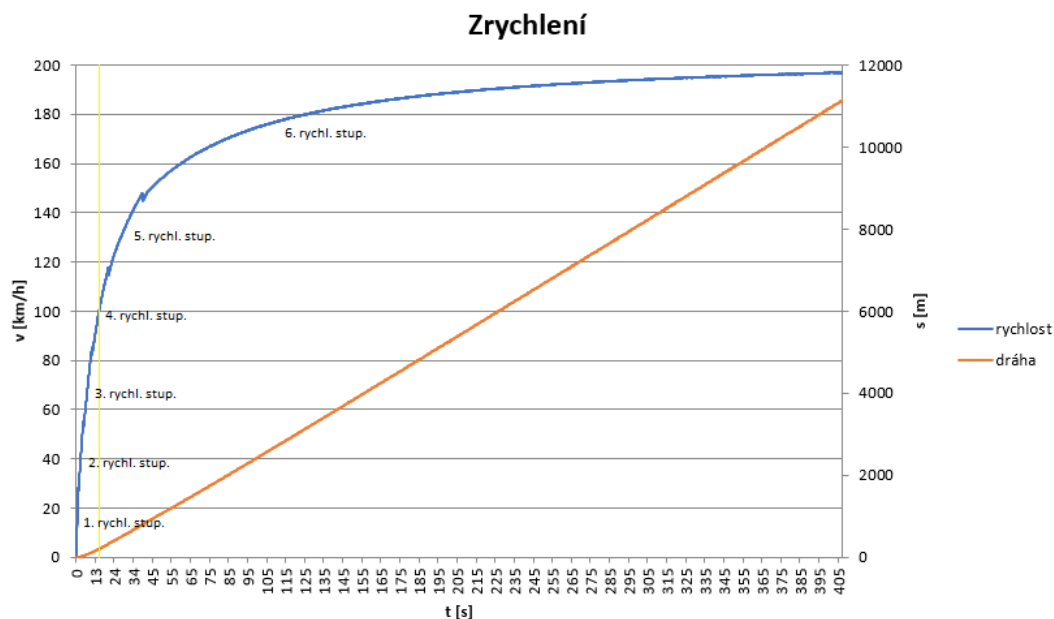
Rozjezd s různými povrchy



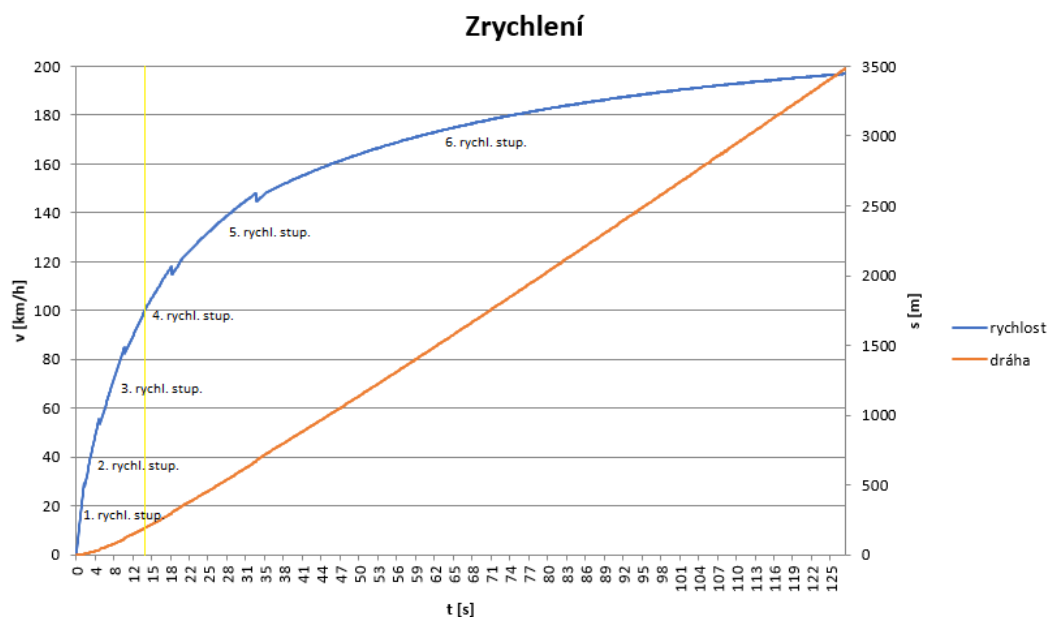
Graf 6. Škoda Fabia 1.2 TSI rozjezd – mokrý asfalt.



Graf 7. Škoda Fabia 1.2 TSI rozjezd – polní cesta, suchá.



Graf 8. Škoda Fabia 1.2 TSI rozjezd – čerstvý sníh.



Graf 9. Škoda Fabia 1.2 TSI rozjezd – náledí.

Pro tentokrát se zvolili různé typy povrchů vozovky. Nastavení modelu vozidla Škody Fabia bylo stále stejné, tedy rychlost větru působící na model Škody Fabia byla nulová, teplota vzduchu byla při rozjezdu na mokrému asfaltu a suché polní cestě 23°C a při rozjezdu na čerstvém sněhu a náledí se teplota snížila na -5°C . Náklon vozovky byl 0%, takže modely jely po rovné trati. Typ automobilu, tedy tvar jeho karoserie zůstal stejný – osobní automobil.

V grafu č. 6 se model vozidla Škody Fabia rozjížděl po mokrému asfaltu. Valivý odpor kol byl o něco větší než případě suchého asfaltu a proto si můžeme povšimnout jistého zpomalení

oproti situaci, kdy se model Škoda Fabia rozjížděl na suchém asfaltu, jak je znázorněno v grafu č. 1 (**Rozjezd bez zátěže**). Změny ve výsledné rychlosti jsou hůře postřehnutelné. Součinitele valivého odporu pro suchý asfalt a mokrá asfalt jsou velice podobné. Jedná se o hodnoty 0,015 u suchého asfaltu a 0,02 u mokrého asfaltu. Rozdíl mezi hodnotami po odečtení je 0,005, což je velice malá hodnota. Protože se náš model Škody Fabia rozjíždí na mezi adheze, tedy bez prokluzu kol, tak je skutečnost, že je mokrá asfalt kluzký, zanedbána. Bereme tedy v úvahu pouze valivý odpor působící na kolo modelu vozidla, které jede po vybraném povrchu. Jelikož jsou valivé odpory způsobené povrchem vozovky téměř stejné, je téměř totožná rychlost i dráha ujetá v čase.

V dalším grafu č. 7 se Model Škody Fabia pohybuje po rovné a suché polní cestě s náklonem vozovky 0%. Polní cesta, přesto že je uježděná, má měkčí povrch než vozovka pokrytá asfaltem. Kola se do hlíny mírně zaboří a tím naroste valivý odpor, který působí proti směru pohybu vozidla. Každá síla působící proti směru pohybu vozidla se vozidlo snaží zastavit. Cílem správné vozovky je tedy povrch s co nejjemnějším povrchem, aby byl valivý odpor co nejmenší. Toto řešení by bylo možné pouze v případě, když by se vozidlo pohybovalo přesně tím směrem, který mu řidič udá a za žádných okolností by se kola automobilu nesmekly. Kdyby platily ideální podmínky přilnavosti vozidla v reálném světě, bylo by možné například jezdit kovovými koly po vyleštěné silnici. Tento příklad jsem uvedl pouze pro představu snížení valivého odporu vozidla. Použití těchto materiálů by s sebou neslo další úskalí, jakým je například cena použitých materiálů. V reálném světě ale ideální podmínky nejsou a tak je nutné volit materiály podle stavu aktuální situace. Většina vozovek je pokryta asfaltovým povrchem, který je tvrdý, tudíž má nízký valivý odpor a zároveň je cenově přijatelný v porovnání například s litinovými silnicemi (příklad ze světa dokonalé přilnavosti). Jelikož cesty jsou jaké jsou a materiály ze kterých jsou se v průběhu jízdy mění, je důležitý i materiál pneumatik vozidla. Do vozidel se od počátků pryže montují gumová kola. Jak víme, guma má dobrou přilnavost, tedy vznikne dobré spojení mezi vozovkou a kolem vozidla. Na suché asfaltové silnici bez jakýchkoliv nečistot by stačilo, aby byl plášť pneumatiky rovný bez dezénu, jako je tomu například u závodů Formule 1. Ovšem na silnici najdeme mnoho malých objektů, které přilnavost vozidla k silnici zhoršují. Může to být například rozsypaný štěrk, či louže tvořící se po dešti. Každý objekt nacházející se na silnici, ať je to štěrk, písek, voda či jiné materiály, zhoršuje přilnavost k vozovce a každý povrch vozovky má rozdílnou přilnavost k pneumatikám vozidla. Pro lepší záběr vozidla jak při rozjíždění, při brzdění a v zatáčkách se na pneumatikách dělá dezén. Dezén má za úkol odvádět vodu na silnici od středu kola a tím předejít smyku. Jev, kdy je nahromaděná voda přespršlíš, že ji dezén nedokáže odvést do boků kola, se nazývá Aquaplaning [8]. Vlivem rychlosti a množství vody na vozovce začne vozidlo plavat a tím se dostane do smyku a stává se neovladatelným. Vlivem jízdy a tření kola o vozovku se hloubka dezénu neustále zmenšuje. Nižší hloubka dezénu ale zvyšuje riziko smyku, proto je nutné pláště na vozidle pravidelně kontrolovat a popřípadě včas vyměnit. Pro orientaci je minimální hloubka dezénu zimních pneumatik 4mm a u letních pneumatik 1,6mm [13]. Příkladem může být jednoduchá podrážka boty, která se snáze smekne, pokud daná bota nemá žádný protiskluzový vzorek na podrážce. Kvalita a typ pryže na pneumatice je dalším faktorem přilnavosti. Na každý terén či teplotu je lepší jiný typ pláště. Například zimní kola se dělají z měkčí pryže, která zajistí lepší přilnavost v nízkých teplotách, kdy je každý materiál zmrzlý a tím pádem ztuhlý. Ovšem měkčí pryž znamená rychlejší opotřebení, proto se letní kola, kde není potřeba takovýchto vlastností, dělají z tvrdší pryže. Nahuštění pneumatiky je také velice důležité. Podhuštěná kola kladou výrazně větší valivý odpor než kola nahuštěná správně. Ve své podstatě, čím je více kolo nahuštěné, tím je tvrdší a méně se zmáčkne,

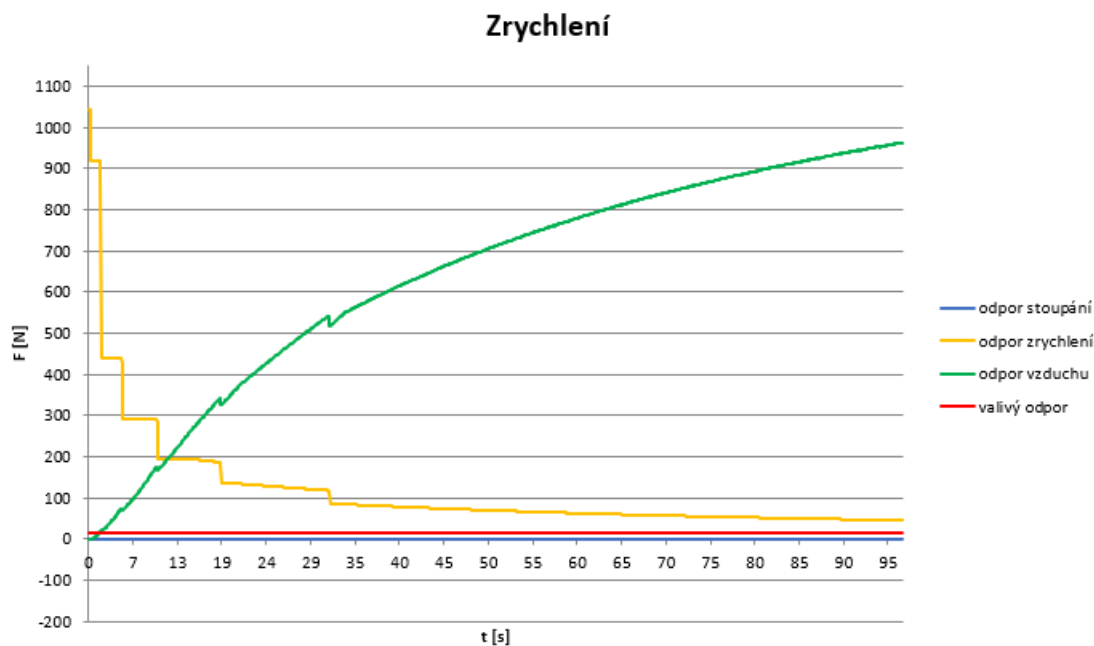
proto způsobí ve výsledku menší valivý odpor. Bohužel přehuštěná kola se mají tendenci uprostřed vypouknout. Tento jev způsobí, že se kola uprostřed více sjíždějí, protože je na střed přiveden větší tlak než na okraje pneumatiky. Přehuštěné pneumatiky jsou tedy tvrdé, kladou nižší valivý odpor, ale mají mnohem větší šanci ke smyku díky snížení styčné plochy mezi pneumatikou a vozovkou. Proto se hledá kompromis mezi přehuštěním a podhuštěním. U osobních automobilů a u modelové Škody Fabia je tato hranice 2,2 baru na předních i na zadních kolech [9]. Obecně s rostoucí zátěží se přidává tlaku v pneumatikách. Správně nahuštěné pneumatiky přidávají na celkovém komfortu jízdy autem. Z grafu je tedy patrné že měkčí terén než je asfaltový povrch v případě grafu č. 1, či grafu č. 6, klade větší odpor. Čím by byla cesta měkčí, tím by se model Škody Fabia více bořil a valivý odpor by tím byl větší. Model by pak potřeboval více síly k překonání tohoto jízdního odporu. Model se potom na povrchu suché polní cesty rozjede do maximální rychlosti asi o 15 vteřin pomaleji, než kdyby jel na asfaltovém povrchu, jako tomu bylo u grafu č. 1.

V grafu č. 8 můžeme vidět, jak se model Škody Fabia snaží dosáhnout maximální rychlosti na zasněženém terénu. Teplota vzduchu klesla na -5°C , jinak se kromě změny terénu v nastavení nic nezměnilo. Čerstvý sníh je pro řidiče nepříjemná záležitost, se kterou se musí během zimních období potýkat. Sněhová pokrývka je měkká a pneumatiky vozidla se do ní snadno zaboří. Valivý odpor je proto mnohem vyšší než tomu bylo například u asfaltového povrchu. Model potřebuje větší sílu nebo větší množství času, aby se dostal na hranici své maximální rychlosti. Jak si můžeme povšimnout jedná asi o 4x delší čas než v případě rozjezdu na asfaltovém povrchu. Díky tomu, že automobil jede dlouho ve vysoké rychlosti, ale ještě nedosáhl maxima, je ujetá vzdálenost tak velká. Dráha pro rozjezd na maximální rychlost by musela být tedy alespoň 11km, dlouhá což je asi 4,4x delší dráha než při rozjezdu na asfaltové dráze.

Posledním grafem je rozjezd modelu Škody Fabia po namrzlé vozovce – náledí. Venkovní teplota je opět -5°C a ostatní parametry zůstaly stejné. Rozjezd na něm je asi o 25 sekund delší, než na asfaltovém povrchu. Součinitel valivého odporu vozovky s asfaltovým povrchem je 0,01 – 0,02 podle toho, zda je asfalt mokrá či suchá. Součinitel valivého odporu náledí se pohybuje v rozmezí 0,01 – 0,025. Námí zvolená hodnota součinitele valivého odporu je 0,0175, což způsobilo onen rozdíl mezi jízdou po asfaltu a jízdou po náledí.

Rozjezd bez zátěže – vliv jízdních odporů

Tento graf se zaměřuje na jízdní odpory modelu vozidla Škody Fabia. Nastavení vozovky, povětrnostních podmínek, tvaru karoserie odpovídá první simulaci (**Rozjezd bez zátěže**). Všechny čtyři jízdní odpory jsou zaznamenávány v čase a jejich hodnota je vynesena v jednotkách síly N – Newton. Jedná se o síly působící proti směru pohybu vozidla, proto jim říká jízdní odpory a proto mají jednotky síly.



Graf 10. Škoda Fabia 1.2 TSI jízdní odpory při rozjezdu bez zátěže.

Prvním zaznamenaným jízdním odporem je odpor stoupání. Hodnota tohoto jízdního odporu je nulová, protože model vozidla jede po nenakloněné rovině. Jeho hodnota je po celou dobu konstantní, tedy nemění se v čase. Kdyby se automobil pohyboval po dráze, která by byla nakloněná do kopce, jako je tomu v případě grafu č. 2 (**Rozjezd do kopce**), byla by jeho hodnota kladná, kdyby jel model vozidla z kopce dolů, jako je tomu u grafu č. 3 (**Rozjezd z kopce**), byla by jeho hodnota záporná. Velikost odporu stoupání udává náklon kopce. Je tedy zřejmé, že čím je kopce vyšší, tím je i odpor stoupání vyšší a naopak. Odpor stoupání by nebyl v čase konstantní, pokud by jsme uvažovali dráhu, která mění svůj sklon. Model vozidla by jel po vozovce a překonával stoupání i klesání, tím by se odpor stoupání měnil podle aktuální pozice na vozovce.

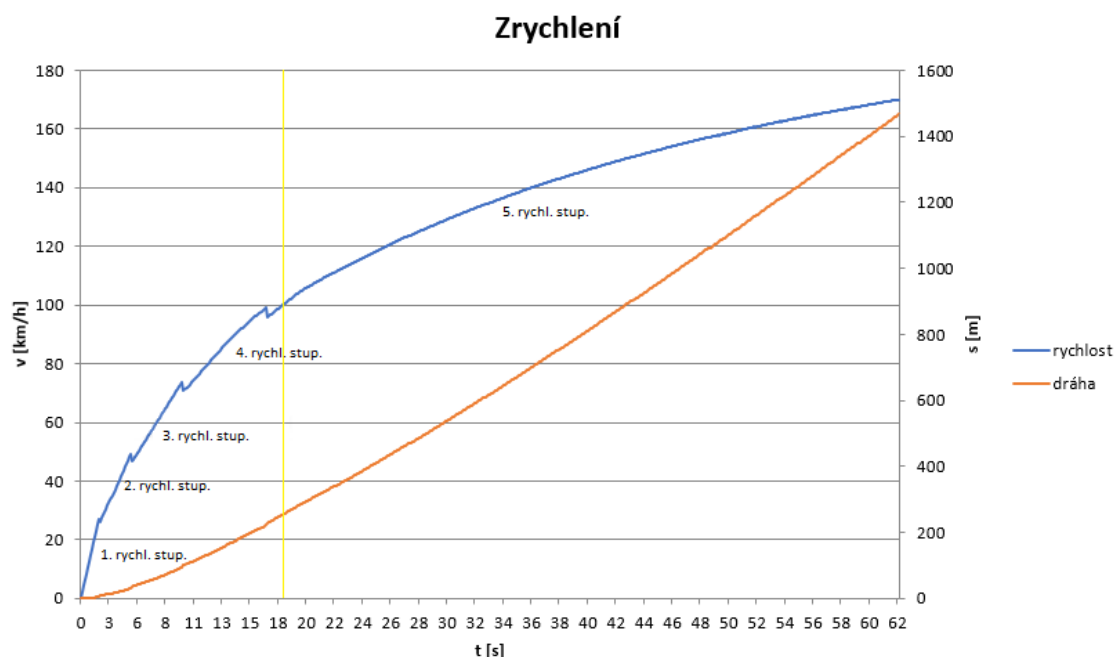
Dalším zaznamenaným jízdním odporem je odpor zrychlení. Jeho hodnota se mění v čase v závislosti na zrychlení vozidla. V prvních okamžicích, kdy má zrychlení modelu vozidla nejvyšší hodnotu, je nejvyšší i odpor zrychlení. Na odpor zrychlení dále působí i zařazený rychlostní stupeň a hmotnost vozidla. Zařazením vyššího rychlostního stupně za účelem snížení počtu otáček motoru se sníží i síla vozidla. Model vozidla je tedy na vyšší rychlostní stupeň slabší, než na nižší, což způsobí menší zrychlení modelu vozidla. Menší zrychlení pak znamená menší odpor zrychlení. Příkladem může být pouhý pohyb rukou. Pokud chceme rukou pohnout rychle (ruka má velké zrychlení – velký odpor zrychlení) a musíme vynaložit více síly k překonání odporu, než když hýbeme rukou pomalu. Váha modelu vozidla hraje podobnou roli v oblasti výpočtu odporu zrychlení. Čím je vozidlo těžší, tím je zapotřebí více síly toto vozidlo rozpohybovat. Na odporu zrychlení se také podílejí všechny rotační součásti vozidla – pro zjednodušení koeficient rotačních součástí vozidla. Aby byl tento koeficient co nejnižší, a tedy i co nejnižší odpor zrychlení, je nutné mít v motoru a převodovce olej, který zajišťuje snadné otáčení rotačních součástí a zmenší tím odpor kladený rotačními součástkami hnacího ústrojí.

Třetím z jízdních odporů je odpor vzduchu. Na odporu vzduchu se promítne rychlost vanoucího větru, i rychlost vozidla samotná. Rychlost i směr vanoucího větru je v simulač-

ním modelu konstantní. Ovšem kdyby se tyto hodnoty měnily, docházelo by k rozložení sil působení na karoserii vozidla. Ve výsledku by byla hodnota směru větru zase číslo, které by mělo buď kladné znaménko, když by vítr vál proti směru vozidla, nebo záporné znaménko v případě opaku. Měnila by se tedy pouze jeho velikost v závislosti na rychlosti větru a směru působení. Odpor větru je rostoucí v závislosti na rychlosti vozidla. Čím se pohybuje model vozidla větší rychlostí, tím je odpor větru větší. Za předpokladu bezvětří na automobil jedoucí rychlostí 100km/h působí rychlost větru 100km/h způsobeného rychlou jízdou. Tento odpor může výrazně změnit aerodynamika vozidla. Pokud je karoserie aerodynamicky tvarovaná, zmenší se plocha na kterou může vítr u vozidla působit. Například opačného jevu využívají plachetnice, které své plachty nastavují do větru, který jim předá svou kinetickou energii. Tyto lodě potřebují co největší plochu plachet, pro co největší využití kinetické energie vzduchu.

Posledním z jízdních odporů je již probíraný valivý odpor. Tento odpor je také po celou dobu simulace konstantní. Jeho hodnota je stálá, protože uvažujeme, že se povrch vozovky nemění. Kdyby se vozovka měnila, resp. její povrch, měnil by se i valivý odpor působící negativně na jízdu vozidla. Velikost by udával podklad, na kterém se zrovna model nachází. Na asfaltovém povrchu by tedy byl valivý odpor nižší, než například ve sněhu, jak jsme vydedukovali z grafů č. 1 a č. 8. Valivý odpor je konstantní a v porovnání s ostatními jízdními odpory nejmenší, pomineme-li odpor stoupání, který je vlivem rovné vozovky nulový.

6.1.2 Model Škoda Felicia 1.6 (55kW)



Graf 11. Škoda Felicia 1.6 (55kW) rozjezd bez zátěže.

V grafu č. 11 můžeme vidět charakteristiku rozjíždění modelu vozidla Škody Felicia 1.6. Nastavené vozovky a povětrnostních podmínek je stále stejné jako je tomu u modelu Škody Fabia v grafu č. 1 (**Rozjezd bez zátěže**). Změnilo se pouze nastavení vozidla. Škoda Felicia disponuje převodovkou o 5-ti rychlostních stupních.

Převodové poměry jsou [12, s. 25]:

- stálý převod: 3,833
- 1. rychlostní stupeň: 3,462
- 2. rychlostní stupeň: 1,957
- 3. rychlostní stupeň: 1,31
- 4. rychlostní stupeň: 0,975
- 5. rychlostní stupeň: 0,756

Jak můžeme vidět, úpravou točivého momentu a převodových poměrů se charakteristika rychlosti modelu Škody Felicia od modelu ŠKODY Fabia změnila. Můžeme si všimnout, že výkonově slabší Škodě Felicii trvá rozjezd na rychlost 100km/h o 4 vteřiny rychleji. Váha automobilu hraje při rozjíždění velkou roli. Lehčí automobil se rozjede mnohem rychleji, než automobil těžký, ale snížením váhy automobilu se ztrácí jeho přilnavost k vozovce. Tento problém se řeší aerodynamickým tvarováním karoserie vozidla, popřípadě přidáním spoilerů. Vzduch proudící proti směru pohybu vozidla tedy působí jako přitlačná síla, která pomáhá automobilu udržet přilnavost k vozovce. Proudění vzduchu roste spolu s rychlostí. Čím rychleji automobil jede, tím větší je proudění vzduchu a tím větší je přitlačná síla vozidla k vozovce. Model Škody Felicia má menší výkon, než model Škody Fabia (**Rozjezd bez zátěže**), ale je o 164 kilogramů lehčí, proto jeho zrychlení není o tolik menší, než jak tomu je u modelu Škody Fabia.

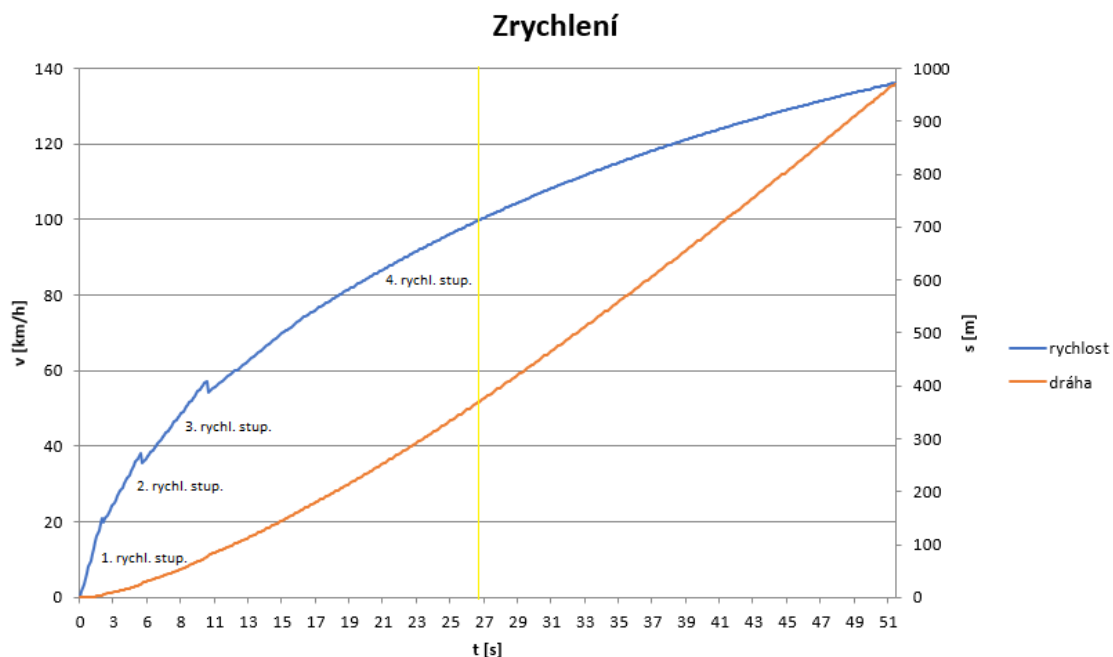
6.1.3 Model Škoda 120LE (37kW)

Model Škody 120LE, jak můžeme vidět v grafu č. 12, je naším nejslabším zařazeným modelem vozidla. Nastavení vozovky a povětrnostních podmínek zůstalo stejné. Toto vozidlo disponuje čtyř-stupňovou převodovkou o převodových poměrech [10, s. 17]:

- stálý převod: 3,9
- 1. rychlostní stupeň: 3,8
- 2. rychlostní stupeň: 2,12
- 3. rychlostní stupeň: 1,41
- 4. rychlostní stupeň: 0,93

Jeho hnací síla je 85Nm při 3000 otáčkách za minutu a maximální výkon 37 kW. Vůz váží 875 kilogramů. Jak je z charakteristiky grafu č. 12 vidět, je tento model tím nejpomalejším. Zrychlení z 0 – 100km/h zvládne okolo 26,5 vteřiny a maximální rychlost za přibližně 51 vteřin. Tento vůz je dnes již považován za veterána, ale zařadil jsem ho mezi modely, abych poukázal na charakteristiku vozidel se čtyř-stupňovou převodovkou. Jak je z grafu patrné, model zařadí 4. rychlostní stupeň ještě před dosáhnutím rychlosti 60km/h. Je to způsobeno vlivem modelu řidiče (ve kterých otáčkách přechází), ale i točivým momentem

vozu a převodovými poměry modelu vozidla. Čím je točivý moment vozidla větší, tím je větší i jeho výsledná síla. Stejně je tomu tak i u převodových poměrů. Čím větší je číslo převodového poměru rychlostního stupně vozidla, tím se zvedne i jeho síla. Automobily ovšem potřebují zároveň snížit otáčky při přeřazení, proto se volí takové převodové poměry, aby bylo schopné se vozidlo nadále rozjíždět a zároveň nemělo vysoké otáčky (kvůli spotřebě). Obecně platí a vyplývá to i z momentové a výkonové charakteristiky vozidla, že čím vyšší otáčky automobilu jsou, tím větší je jeho výkon (až do určité meze). Výrobce tedy u Škody 120LE zvolil takové převodové poměry, aby automobil měl dostatečnou sílu uvést posádku i náklad. Zvolil tedy větší převodové poměry, aby vykompenzoval ztráty slabšího motoru.



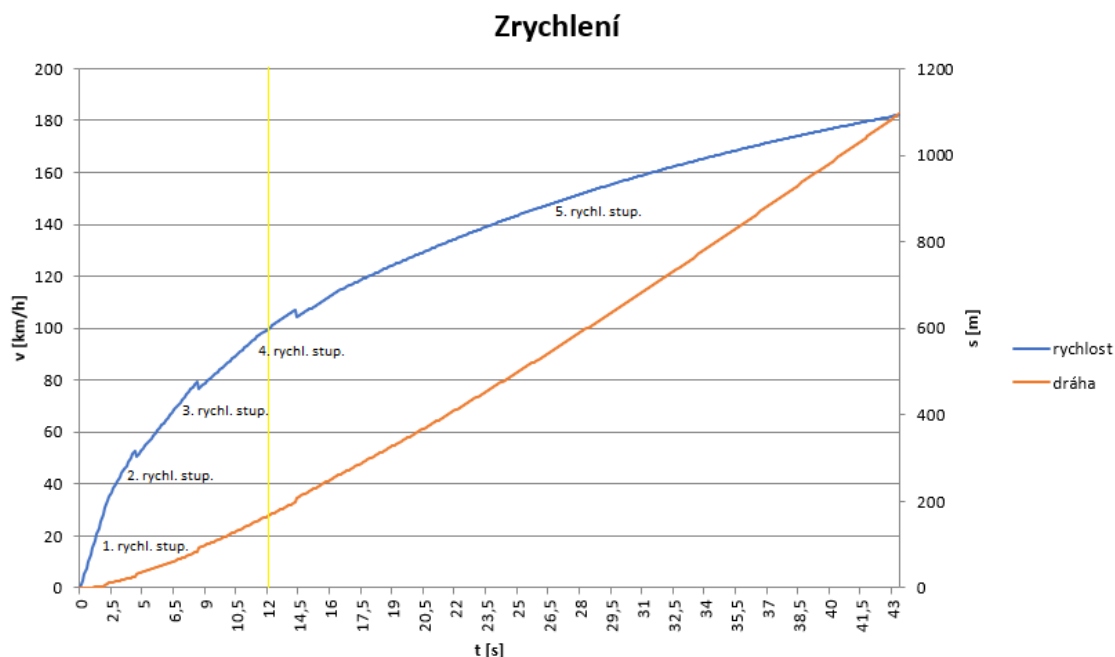
Graf 12. Škoda 120LE (37kW) rozjezd bez zátěže.

6.1.4 Model Ford Fiesta 1.6i Zetec Sport (93kW)

Posledním modelovým vozem je Ford Fiesta o obsahu 1.6l. Je naším výkonově nejsilnějším kandidátem, ovšem ne nejrychlejší. Nastavení vozovky a povětrnostních podmínek zůstalo stejné, jako je tomu i u předcházejících příkladů. Model vozu Ford Fiesta má výkon 93kW a točivý moment 182Nm při 4000 otáčkách za minutu. Disponuje pěti-stupňovou převodovkou o převodových poměrech [7]:

- stálý převod: 4,25
- 1. rychlostní stupeň: 3,154
- 2. rychlostní stupeň: 1,926
- 3. rychlostní stupeň: 1,281
- 4. rychlostní stupeň: 0,951
- 5. rychlostní stupeň: 0,756

Model vozidla Ford Fiesta má stálý převod vyšší, než předchozí modely. Převodový poměr 1. rychlostního stupně je zase menší, ve výsledku můžeme na grafu vidět že se rychlost přežazení na druhý rychlostní stupeň posunula asi o 3 – 4 km/h. Nižšími převodovými poměry výrobce kompenzuje absenci šestého rychlostního stupně. Myšlenka je taková, že snížením převodového poměru klesnou otáčky a automobil je schopný jet na daný rychlostní stupeň vyšší rychlostí, než bude muset řidič přeřadit. Jeho motor má dostatečný výkon na to, aby vykompenzoval nižší převodové poměry. Vůz se tedy ve výsledku chová přibližně stejně jako například model Škody Fabia z grafu č. 1 ([Rozjezd bez zátěže](#)).



Graf 13. Ford Fiesta 1.6i Zetec Sport (93kW) rozjezd bez zátěže.

6.2 Model brzdění

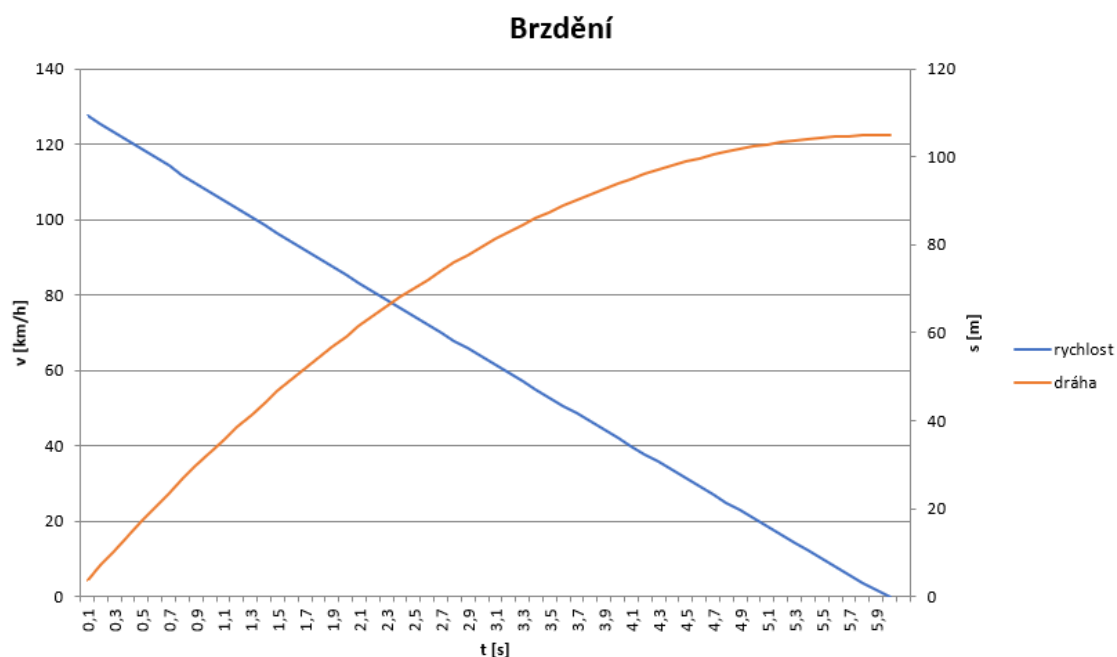
Model brzdění je opakem modelu zrychlení. Uvažuje takovou situaci, že model vozidla jede určitou rychlostí, když najednou modelový řidič vyřadí a začne brzdít. V tento moment uvažujeme začátek simulace. Je zřejmé, že se v praxi při brzdění nechává zařazený rychlostní stupeň pro takzvané brzdění motorem. Naším cílem je ale poukázat hlavně na jízdní odpory při brzdění. Celkovou brzdnou dráhu, či čas zastavení zaznamenáváme, pouze jako výsledky simulace. Tyto parametry zohledňujeme, abychom mohli porovnávat mezi jednotlivými grafy různých modelových situací.

6.2.1 Model osobního vozidla

Jízda po rovině za bezvětří (130km/h, 1000kg)

První modelovou simulací brzdění je jízda za bezvětří a po rovné vozovce. Jedná se o model vozidla vážící 1000kg, jedoucí po suché asfaltové vozovce rychlostí 130km/h. Mo-

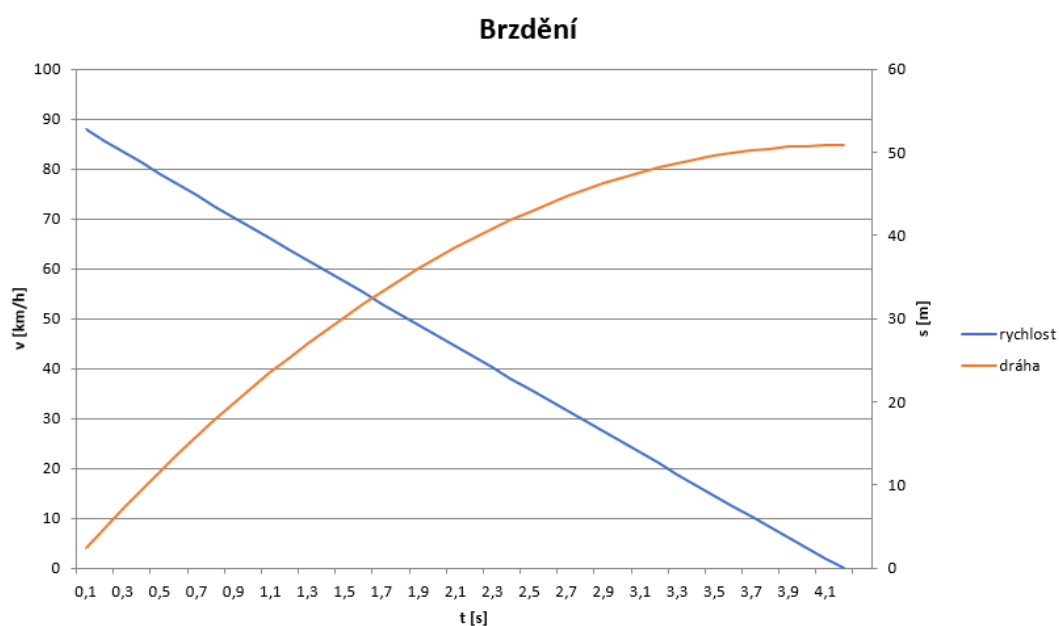
del vozu je osobní automobil. Uvažujeme bezvětří, o venkovní teplotě 23°C, náklon vozovky 0% a brzdicí účinnost 100%, tedy maximální možná brzdicí síla na mezi adheze. Jak z grafu vyčteme, model vozidla zastaví za přibližně 6 vteřin a po 105-ti metrech.



Graf 14. Model brzdění vozidla o váze 100kg, jedoucího 130km/h – rovina, bezvětří.

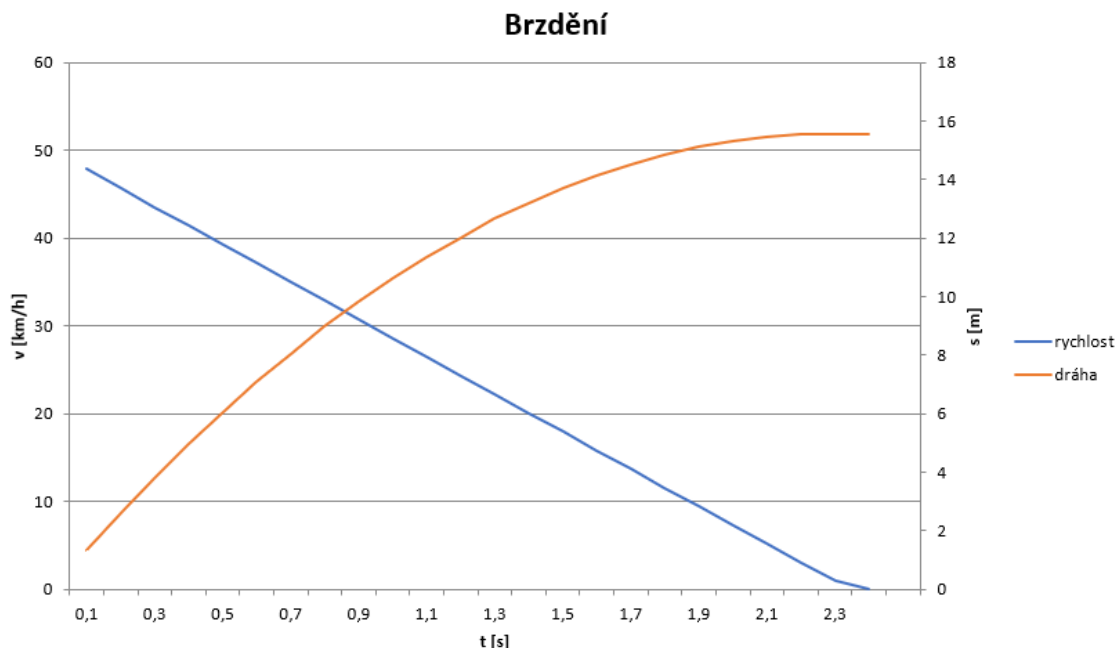
Jízda po rovině za bezvětří(90km/h, 1000kg)

Oproti předchozí simulaci se změnila pouze rychlost ze 130km/h na 90km/h. Jak můžeme z grafu vyčíst, brzdná dráha je přibližně poloviční.



Graf 15. Model brzdění vozidla o váze 100kg, jedoucího 90km/h – rovina, bezvětří.

Jízda po rovině za bezvětrí(50km/h, 1000kg)

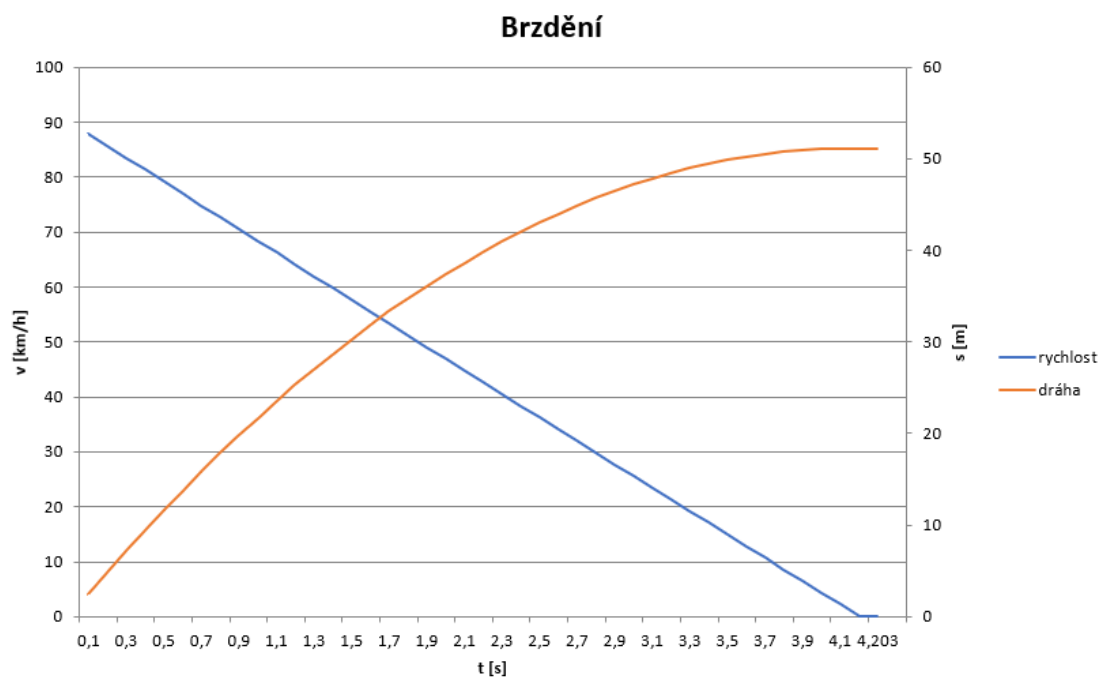


Graf 16. Model brzdění vozidla o váze 100kg, jedoucího 50km/h – rovina, bezvětrí.

Graf č. 16 vytváří pohled na simulaci brzdění z rychlosti 50km/h. Hodnoty nastavení jsou stále stejné. Jak si můžeme povšimnout, tak brzdná dráha u grafu č. 16 se zmenšila přibližně 7x. Ověřili jsme tedy skutečnost, že při vyšší rychlosti automobil ujede větší vzdálenost za stejnou jednotku času. Z tohoto důvodu vycházejí brzdné dráhy nelineárně zmenšené v závislosti na zmenšené rychlosti.

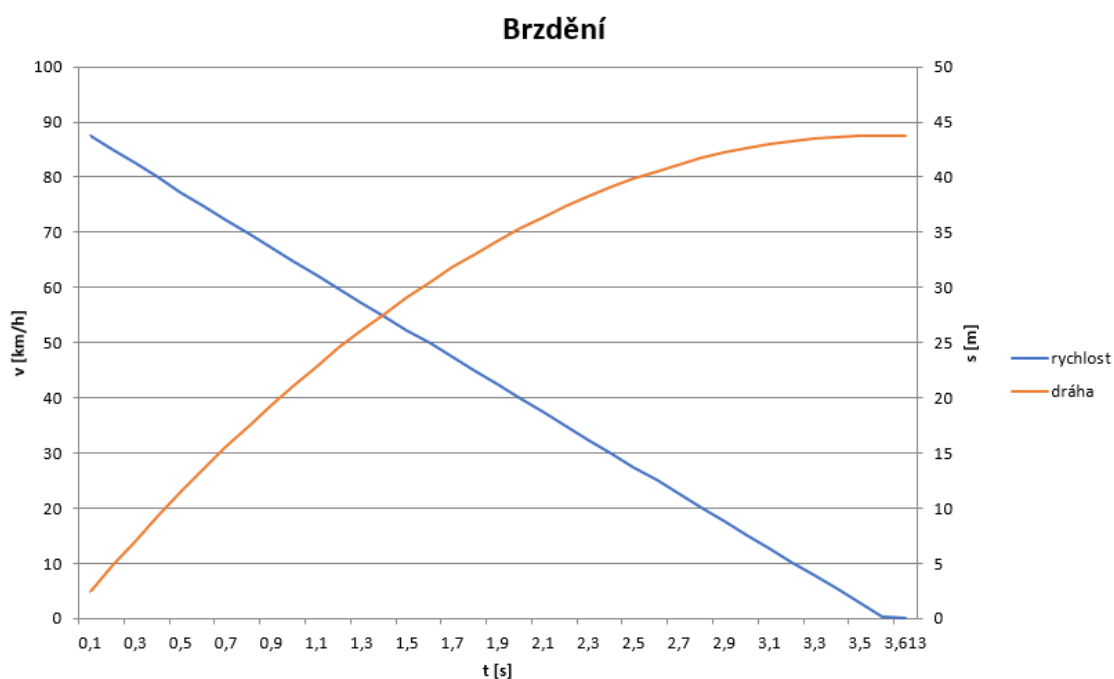
Jízda po rovině za bezvětrí(90km/h, 1500kg)

Tato simulace se ověřuje, že automobil o těžší váze zastaví za delší dobu, než automobil lehčí. Jako protipříklad můžeme vzít situaci z grafu č. 15 (**Jízda po rovině za bezvětrí(90km/h, 1000kg)**). Oba modely tedy na počátku jeli rychlostí 90km/h. První model vozidla vážil 1000kg, druhý 1500kg. V grafech pouhým okem rozdíl nepoznáme, ale vůz o váze 1500kg zastavil o 17ms pomaleji viz (**Tabulka s konečnými hodnotami**). Nebereme v úvahu účinnost brzd, smyk, ani to jak má celková váha vozidla vliv na brzdnu dráhu. Pouze jsme poukázali na skutečnost, že váha je jedním z faktorů při brzdění vozidla.



Graf 17. Model brzdění vozidla o váze 1500kg, jedoucího 90km/h – rovina, bezvětrí.

Jízda do kopce za bezvětrí(90km/h, 1000kg)

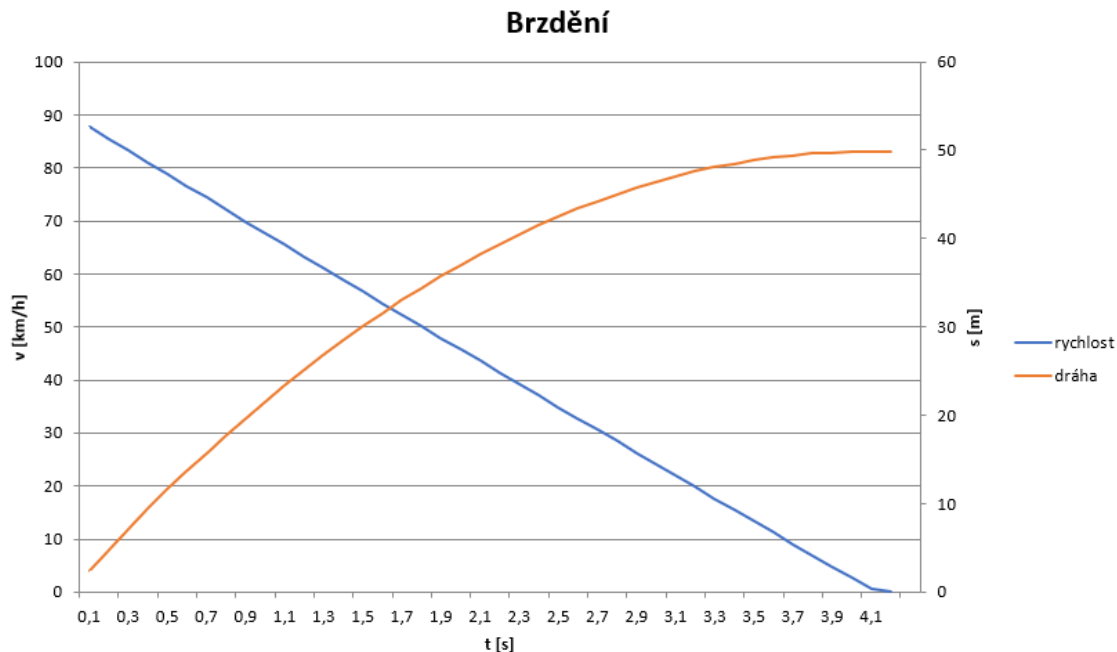


Graf 18. Model brzdění vozidla o váze 1000kg, jedoucího 90km/h – do kopce, bezvětrí.

Tento graf je výsledkem simulace modelu brzdění při jízdě do kopce. Kopec má náklon 10%, tedy na 100 metrech dráhy vzroste jeho výška o 10 metrů. Jak můžeme zpozorovat,

brzdná dráha se vlivem jízdy do kopce zmenšila. Odpor stoupání tedy působil proti směru pohybu vozidla, tudíž pomohl modelu vozidla zastavit, a proto je doba zastavení kratší.

Jízda po rovině, protivítr (90km/h, 1000kg)

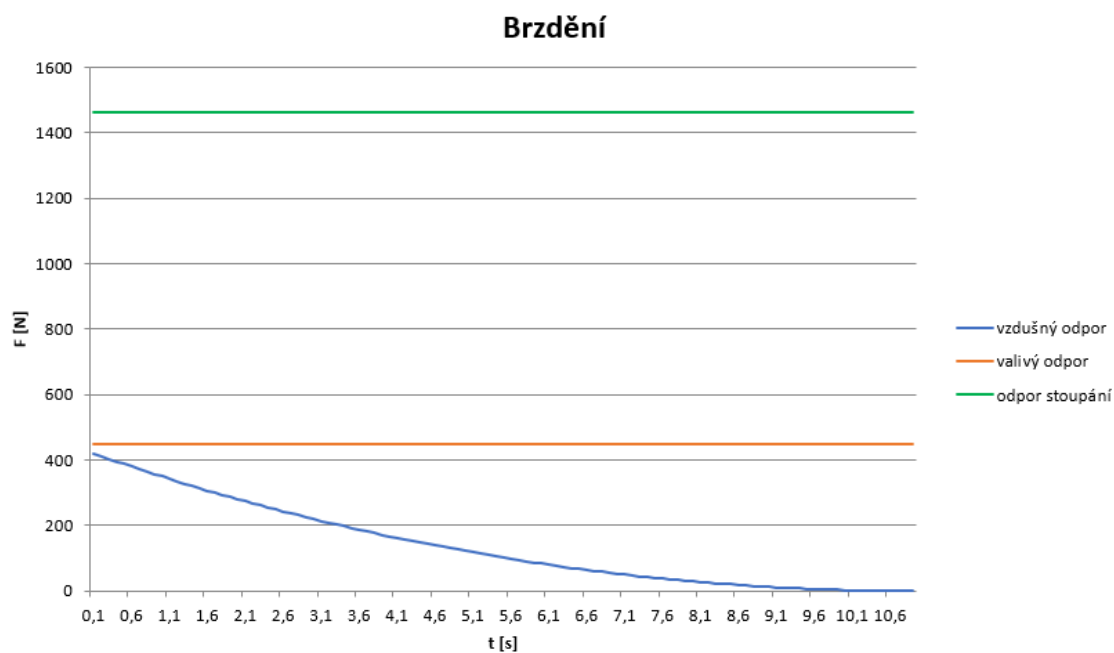


Graf 19. Model brzdění vozidla o váze 1000kg, jedoucího 90km/h – po rovině, protivítr 30km/h.

Tento simulační model se zaměřuje na brzdění za protivětru o rychlosti 30km/h. Z grafu je opět těžce postřehnutelný rozdíl mezi brzděním za bezvětří (*Jízda po rovině za bezvětří(90km/h, 1000kg)*) a za protivětru o rychlosti 30km/h. Rozdíl tam ale opravdu je. Při pohledu do tabulky (*Tabulka s konečnými hodnotami*) můžeme zjistit, že se hodnoty od sebe liší o 62ms. Odpor větru působící proti směru pohybu vozidla je tedy pomocnou silou při brzdění.

Jízdní odpory při brzdění

Poslední z grafů má za úkol poukázat na jízdní odpory, které vznikají při brzdění. Aby bylo možné jízdní odpory sledovat, je zvolena nereálná situace, kdy automobil o váze 1500kg jede po nakloněné vozovce do kopce (10%) s povrchem bahnité půdy a vanoucím protivětrům o rychlosti 30km/h. Jak můžeme vidět, valivý odpor bahnité půdy je poměrně vysoký. Je to proto, že bahnitá půda je měkká a tudíž klade velký odpor. Odpor stoupání je konstantní a je dán velikostí náklonu kopce. Vzdušný odpor má hodnotu podle rychlosti, jakou se automobil zrovna pohybuje. Tím že automobil zpomaluje, klesá i vzdušný odpor vozidla.



Graf 20. Jízdní odpory modelu vozidla o váze 1500kg, jedoucího 130km/h – do kopce, protivítr 30km/h, bahnitá půda.

6.2.2 Tabulka s konečnými hodnotami

Název simulace	doba brzdění [s]	brzdná dráha [m]
Jízda po rovině za bezvětří (130km/h, 1000kg)	5,976	104,8699
Jízda po rovině za bezvětří(90km/h, 1000kg)	4,186	50,81981
Jízda po rovině za bezvětří(50km/h, 1000kg)	2,344	15,57215
Jízda po rovině za bezvětří(90km/h, 1500kg)	4,203	51,09653
Jízda do kopce za bezvětří(90km/h, 1000kg)	3,613	43,70755
Jízda po rovině, protivítr (90km/h, 1000kg)	4,124	49,84405

Tab 5. Tabulka konečných dat modelu brzdění

Kapitola 7

Závěr

V této práci bylo záměrem pokusit se shrnout veškeré praktické i teoretické vlivy působící na vozidlo při jeho pohybu a vytvořit modely jednotlivých situací s cílem přiblížit se co možná nejvíce reálnému provozu vozidla.

Pro modely vozidel byly vybrány dvoustopá motorová vozidla s ohledem na datum výroby a jejich technické parametry. Některá z těchto vozidel stále můžeme najít na našich silnicích, nebo jsou stále vryta do podvědomí lidí, kterým tato vozidla sloužila.

Na vozidla v reálném provozu působí mnoho faktorů. Mezi nejdůležitější patří řidič, automobil a okolí. Vliv řidiče na jízdu byl omezen na nejdůležitější základní informace. Těmito daty jsou délka doby řazení, se kterou se spojuje i pokles rychlosti při přeřazení, hodnota otáček motoru, při jakých se modelový řidič rozhodne přeřadit na vyšší rychlostní stupeň, nebo při brzdění vyřazený rychlostní stupeň a síla stlačení brzdového pedálu. Pohyb vozu ovlivňuje zásadně jeho konstrukce a technické parametry. Tato problematika je ovšem velmi složitá, proto bylo při modelování zanedbáno tření v motoru, jenž bylo nahrazeno koeficienty, kvalitou paliva, pneumatik a dalších vlivů. Mezi zmíněné parametry objevující se v modelové simulaci patří jen ty nejzákladnější a nejdůležitější parametry. Jsou jimi točivý, neboli kroutící moment motoru při určitých otáčkách a výkonu. Převodovka je další součástí hnacího ústrojí vozidla, významně ovlivňující jízdní dynamiku rozjezdu a jízdy vozidla. Výběr parametrů převodovky byl opět omezen pouze na ty nejdůležitější. Patří mezi ně například počet rychlostních stupňů, stálý převodový poměr, ale i převodové poměry na jednotlivých rychlostních stupních. S těmito veličinami úzce souvisí i použitý druh pneumatik o jistém průměru. Typ automobilu a jeho tvar karoserie také významně ovlivňuje jízdní odpory vozidla. Povětrnostní vlivy působící na jízdu modelového vozidla jsou síla větru, nebo venkovní teplota vzduchu okolo automobilu. Směr ani rychlost větru se po dobu simulace nemění, je tedy konstantní, ani nebereme v potaz působení bočního větru na pohyb vozidla. Nastavení vozovky je omezeno pouze na vybrané hodnoty, například sklon vozovky, nebo druh povrchu vozovky, po kterém se vozidlo pohybuje. Tyto hodnoty jsou konstantní na celé dráze pro rozjezd, či zastavení vozidla.

Vlastní modelování, ve kterém se použili výše uvedené hodnoty pro výpočet jízdních odporů, umožnily detailněji porovnávat vlivy jízdních odporů na pohyb několika typů automobilů. V grafech jsme se přesvědčili, že různé jízdní odpory mají odlišné vlivy na rozjezd, či zastavení vozidla.

Modelování jízdní dynamiky vozidla umožňuje využití dalších parametrů pro upřesnění a zdokonalení výpočtů. Cílem by bylo dosáhnout co nejpresnějších hodnot, podobajících se realitě provozu vozidla. Dalším možným vylepšením by mohlo být upřesnění jízdy vozidla.

Vůz by se tedy již nemusel pohybovat pouze po přímé ose, ale mohl by mít nastavenou dráhu, kterou by opisoval. Jízda vozidla by tedy již nebyla pouze 1D, ale 3D v tom smyslu, že by model mohl zatačet popřípadě stoupat, či klesat v závislosti na nastavení dráhy vozovky. Zvětšil by se počet jízdních odporů působících na automobil vlivem zatočených kol. Dalším zkoumáním by mohla být přetáčivost a nedotáčivost vozidla při průjezdu zatáčkou v určité rychlosti, popřípadě posuv místa těžiště vlivem zatačení. Mezi možná budoucí vylepšení by se mohl zařadit i smyk vozidla, respektive jeho přítláčná síla vznikající vlivem aerodynamiky karoserie. Simulace okolního prostředí by mohla být nepředvídatelná, tedy náhodná změna klimatických podmínek v závislosti na době jízdy. Směr a rychlost větru by tedy již nebyly pouze konstantní, ale mohly by se náhodně měnit. Při průjezdu krajinou by se mohl měnit terén, tedy typy vozovek, či možnost nastavení pravděpodobnosti deště.

Literatura

- [1] *Humusoft.cz: Matlab* [online]. [cit. 28.5.2020]. Dostupné z: <https://www.humusoft.cz/matlab/details/>.
- [2] *Humusoft.cz: Simulink* [online]. [cit. 28.5.2020]. Dostupné z: <https://www.humusoft.cz/matlab/simulink/>.
- [3] *Modelica.creativeconnections.cz: Modelica* [online]. [cit. 28.5.2020]. Dostupné z: <http://modelica.creativeconnections.cz/wp-content/uploads/2015/04/CC-MODELICA.pdf>.
- [4] *Úložiště: DocPlayer* [online]. Prezentace. Dostupné z: <https://docplayer.cz/92155381-Dynamika-vozidla-prima-jizda-pohon-a-brzdeni.html>.
- [5] *Škoda Fabia technické údaje*. 1. vyd. Škoda auto, 2. 11. 2015.
- [6] Výkonová a momentová charakteristika motoru. *Nová ŠKODA Fabia Combi* [online]. 2006. Aktualizováno 9. 5. 2016 [cit. 18. 4. 2020]. Dostupné z: https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/nova-skoda-fabia-combi-proste-jedinecna-tiskova-mapa/attachment/new_oc_12_63_en-2-2/.
- [7] *Ford Club.eu: Fiesta - převodové poměry* [online]. Listopad 2013. Dostupné z: <https://www.fordclub.eu/forum-tema/fiesta-prevodove-pomery-74381>.
- [8] *Bezpečné cesty: Aquaplaning* [online]. 2014-2019. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecna-jizda-v-aute/aquaplaning>.
- [9] *Aluapneu.cz: Tlak pneumatik* [online]. 2020. Dostupné z: <https://www.aluapneu.cz/tlak-pneumatik>.
- [10] ANDRT, J. *Údržba a opravy automobilů Škoda 105, 120, 130 GARDE-RAPID*. 3. vyd. SNTL-nakladatelství technické literatury, 1984. ISBN 04-203-84.
- [11] BUREŠ, J. *ConVerter: Beaufortova stupnice* [online]. 2002 [cit. 22.5.2020]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/beaufortova-stupnice.html>.
- [12] CEDRYCH, M. R. *Automobily škoda Felicia*. 3. vyd. Grada Publishing, spol. s.r.o., 1998. ISBN 80-7169-718-4.
- [13] DRDLÍČEK, J. *Pneumatiky.cz: Minimální hloubka dezénu* [online]. Březen 2018. Dostupné z: <https://www.pneumatiky.cz/minimalni-hloubka-dezenu-t4>.
- [14] GSCHIEDLE, R. *Příručka pro automechanika*. 1. vyd. Praha: Sobotáles, 2001. ISBN 80-85920-76-X.

- [15] HALLIDAY, D. *Fyzika, Vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. 1. vyd. Praha: VUTIUM a Prometheus, 2000. ISBN 80-214-1869-9.
- [16] HUGHES, J. *Velká obrazová všeobecná encyklopedie*. 1. vyd. Praha: Svojtka a Co, 2007. ISBN 978-80-7352-823-2.
- [17] KRAUS, J. *Nový akademický slovník cizích slov*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství Academia, 2007. ISBN 978-80-200-1351-4.
- [18] PERINGER, P. a HRUBÝ, M. *Modelování a Simulace* [online]. 4. vyd. září 2019 [cit. 27.5.2020]. Prezentace, výukový materiál. Dostupné z: <https://wis.fit.vutbr.cz/FIT/st/cfs.php.cs?file=%2Fcourse%2FIMS-IT%2Flectures%2FIMS.pdf&cid=13325>.
- [19] REICHL, J. a VŠETIČKA, M. *Encyklopedie fyziky: Valivý odpor* [online]. [cit. 9.11.2019]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/37-valivy-odpor>.
- [20] REMEK, B. *Automobil a spalovací motor*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a. s., 2012. ISBN 978-80-247-3538-2.
- [21] VLK, F. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2003. ISBN 80-239-0024-2.
- [22] ČERMÁK, J. *Velká všeobecná encyklopedie*. 1. vyd. Praha: Euromedia Group, 2010. ISBN 978-80-86938-94-3.
- [23] ŠTĚPÁN, L. a KŘIVANOVÁ, M. *Dílo a život mlynářů a sekerníků v Čechách*. 1. vyd. Praha: Agro, 2001. ISBN 80-7203-254-2.