

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORESIC ENGINEERING

JÍZDNÍ ODPORY VOZIDEL

ROAD RESISTANCE OF VEHICLE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ROMAN PRACHAŘ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ ROCHLA

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Prachař Roman, Bc.

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Expertní inženýrství v dopravě (3917T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Jízdní odpory vozidel

v anglickém jazyce:

Road Resistances of Vehicles

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vyčíslení velikostí jízdních odporů představuje nejen výrazný aspekt ekonomiky provozu vozidla, ale také nezbytný základ pro řešení pohybů vozidel při soudně inženýrské analýze dopravních nehod.

Cíle diplomové práce:

Provést teoretický rozbor jízdních odporů, jejich významnosti a obvyklých rozmezí číselných hodnot, a realizovat měření na vybraném vzorku vozidel – dojezdová zkouška, zpomalování se zařazeným převodovým stupněm (se zapnutým, či vypnutým zapalováním) aj. Posoudit shodu experimentu a teoretických předpokladů a analyzovat jejich případný nesoulad.

Seznam odborné literatury:


Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Rochla

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 30.10.2009




prof. Ing. Albert Bradáč, DrSc.
ředitel vysokoškolského ústavu

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá rozbořem jednotlivých jízdních odporů, které působí na vozidlo. Popisuje významnost těchto odporů a faktory, které ovlivňují jejich velikost. Vymezuje postupy při zjišťování jednotlivých veličin potřebných k určení jízdních odporů. Dále popisuje přenos a velikosti hnací síly potřebné pro překonávání celkového jízdního odporu, způsoby měření silničních dojezdových zkoušek při určování jízdních odporů a vliv jízdních odporů na hospodárnost provozu.

Praktická část pojednává o plánu a průběhu realizovaného měření na vybraném vzorku vozidel. Závěrečná část se zabývá hodnocením naměřených údajů z provedeného měření.

Abstract

This thesis deals with the analysis of particular road resistances that affect the car. It describes their importance and factors that influence their size. This thesis defines steps that determine particular quantities that are necessary to assess road resistances. Describing, it qualifies transfer and sizes of driving force that is needed to overcome total road resistance, measuring methods of road range tests upon appropriation of road resistances and influence of road resistances on economy of traffic.

Practical part discusses the plan and course of realized measuring of selected sample of cars. Final part deals with the evaluation of measured values of realized measuring.

Klíčová slova

Jízdní odpory, odpor valivý, odpor vzdušný, dojezdová zkouška, aerodynamika, součinitel vzdušného odporu, ekonomika provozu vozidla.

Keywords

Road resistance, rolling resistance, air resistance, landing run exam, aerodynamics, coefficient of air resistance, the economy of vehicle.

Bibliografická citace

PRACHAŘ, R. Jízdní odpory vozidel. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2010. 85 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Rochla.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce Ing. Tomáše Rochly, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne: 8. 10. 2010

.....
podpis diplomanta

Poděkování

Touto cestou děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Rochlovi za jeho odborné rady a obětavou pomoc při zpracování této práce.

OBSAH

1	JÍZDNÍ ODPORY	12
1.1	Odpor valivý O_f	13
1.1.1	<i>Pneumatiky</i>	15
1.1.2	<i>Součinitel adheze</i>	19
1.1.3	<i>Valení kola</i>	21
1.1.4	<i>Součinitel valivého odporu</i>	22
1.2	Odpor vzdušný O_v	24
1.2.1	<i>Aerodynamika těles</i>	24
1.2.2	<i>Vzdušný odpor působící na vozidlo</i>	27
1.2.3	<i>Vlastnosti vzduchu</i>	30
1.2.4	<i>Výsledná rychlost proudění vzduchu kolem vozidla v_r</i>	30
1.2.5	<i>Čelní plocha vozidla</i>	31
1.2.6	<i>Součinitel vzdušného odporu C_x</i>	34
1.3	Odpor stoupání O_s	38
1.4	Odpor zrychlení O_z	39
1.5	Odpor přívěsu O_p	41
2	VÝKON MOTORU A PŘENOS HNACÍ SÍLY	43
2.1	Vnější otáčková charakteristika motoru.....	43
2.2	Trakční diagram	45
3	ZPŮSOBY MĚŘENÍ A ZÁZNAMU POHYBU VOZIDLA.....	50
3.1	Měření rychlosti pomocí vlečného (pátého) kola	50
3.2	Měření rychlosti metodou optické korelace.....	51
3.3	Výpočet rychlosti pomocí známé délky úseku dráhy a měřený čas	53
3.4	Vyznačení úseků dráhy pomocí značkovacího zařízení	54
3.5	Měření rychlosti pomocí GPS přijímače.....	54
3.6	Pomocí měřicího přístroje XL-Meteru.....	55
4	EKONOMIKA PROVOZU VOZIDLA	57
5	REALIZOVANÉ MĚŘENÍ NA VYBRANÉM VZORKU VOZIDEL	61
5.1	Plán měření	61
5.2	Průběh měření	63
5.3	Naměřené hodnoty a jejich hodnocení.....	67
5.3.1	<i>Hodnocení dojezdové zkoušky</i>	67

5.3.2	<i>Hodnocení zpomalování vozidla se zařazeným rychlostním stupněm</i>	75
5.3.3	<i>Hodnocení zpomalování vozidla se zařazeným rychlostním stupněm a vypnutým zapalováním</i>	79
6	ZÁVĚR.....	80
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	81
8	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	83
9	SEZNAM PŘÍLOH	85

1 Jízdní odpory

Jízdní odpory jsou síly, které působí proti pohybu vozidla. Celkový jízdní odpor se skládá z několika druhů odporů. Patří sem odpor valivý O_f , vzdušný O_v , stoupání O_s , zrychlení O_z , a pokud je za vozidlem připojen přívěs, tak i odpor přívěsu O_p . Tyto jízdní odpory musí být překonány hnací silou od motoru. Celkový jízdní odpor vypočítáme sečtením jednotlivých odporů působících na vozidlo, proto platí vztah:

$$O_c = O_f + O_v + O_s + O_z + O_p = F_H \quad (1.1)$$

kde: O_f valivý odpor

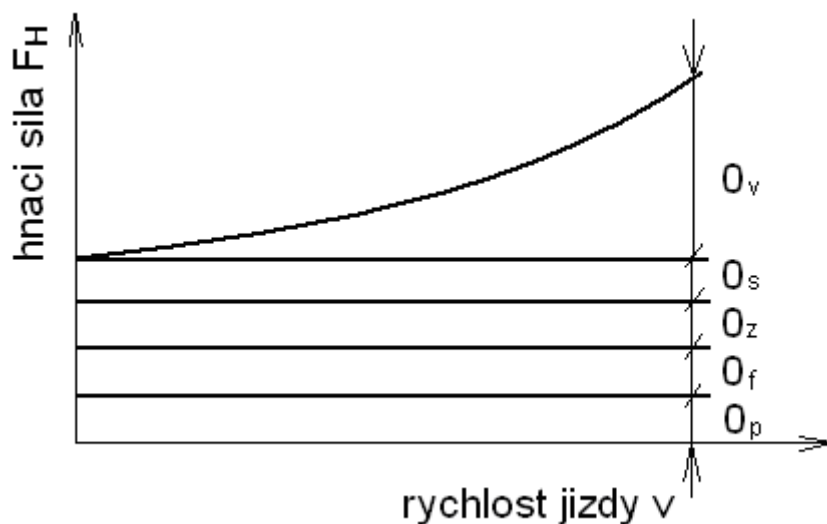
O_v vzdušný odpor

O_s odpor stoupání

O_z odpor zrychlení

O_p odpor přívěsu

F_H potřebná hnací síla na kolech vozidla



Obr. 1.1 Hnací síla potřebná na překonání jízdních odporů [1]

1.1 Odpor valivý O_f

Prostřednictvím pneumatik se vozidlo stýká s vozovkou popř. povrchem terénu. Pneumatiky přenáší všechny síly (*svislé síly*-tíhovou, *tečné síly*-hnačí, brzdná, *boční síly*-vedení vozidla) z vozidla na vozovku a naopak. Celkový valivý odpor určíme sečtením valivých odporů na jednotlivých kolech vozidla. Pro jedno kolo platí vztah:

$$O_{fK} = Z_K \cdot f_K \quad (1.2)$$

kde: Z_K radiální reakce vozovky

f_K součinitel valivého odporu kola

pro celé vozidlo potom platí: $O_f = \sum_i O_{fKi}$ (1.3)

kde: i je počet kol na vozidle

Za předpokladů, že všechny kola na vozidle budou mít stejnou hodnotu součinitele valivého odporu bude platit vztah:

- pro jízdu po rovině:

$$O_f = f \cdot G \quad (1.4)$$

- pro jízdu na nakloněné rovině pod úhlem α :

$$O_f = f \cdot G \cdot \cos \alpha \quad (1.5)$$

kde: f součinitel valivého odporu

G tíhová síla vozidla

α úhel mezi vodorovnou a nakloněnou rovinou

Z rovnice (1.4) je patrné, že pro výpočet valivého odporu je zapotřebí určit jednak tíhovou sílu vozidla G a také součinitel valivého odporu f .

Tíhové síly vozidla

$$\text{Tíhová síla :} \quad G = m \cdot g \quad (1.6)$$

kde: m hmotnost vozidla

g tíhové zrychlení

Tíhové zrychlení

Tíhové zrychlení se skládá z gravitačního a odstředivého zrychlení. Jednotkou tíhového zrychlení je m/s^2 . Tíhové zrychlení v určitém místě závisí na geografické šířce a nadmořské výšce. Např. na rovníku v úrovni mořské hladiny má hodnotu asi $g = 9,780 \text{ m/s}^2$, na pólu je potom $g = 9,832 \text{ m/s}^2$. V Brně je hodnota $g = 9,809980 \text{ m/s}^2$.¹

Pro výpočty v této práci je uvažovaná hodnota $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Hmotnost vozidla

Pro výpočet velikosti valivého odporu je zapotřebí znát aktuální hmotnost vozidla jako celku. Tato hmotnost je složena z hmotnosti samotného vozidla se standardní výbavou (včetně veškerého množství provozních náplní), cestujících přítomných při samotné zkoušce a případně dalšího nákladu, což při měření valivého odporu (experimentální zkouška) mohou být měřicí přístroje a pomůcky. Matematicky to lze vyjádřit rovnicí:

$$m_{v_celk.} = m_v + m_c + m_n \quad (1.7)$$

kde: $m_{v_celk.}$ hmotnost vozidla celková

m_v hmotnost vozidla

m_c hmotnost cestujících

m_n hmotnost nákladu

Hmotnost cestujících lze zvážit pomocí osobní váhy před vstupem do vozidla. Vozidlo potom na vahách k tomu určených. Například silniční mostové váhy (nájezdové nebo zapuštěné provedení) pokud k tomu ovšem nejsou podmínky tak je možnost použít váhy nápravové mobilní.

¹ Zdroj: < http://cs.wikipedia.org/wiki/Tíhové_zrychlení >

1.1.1 Pneumatiky

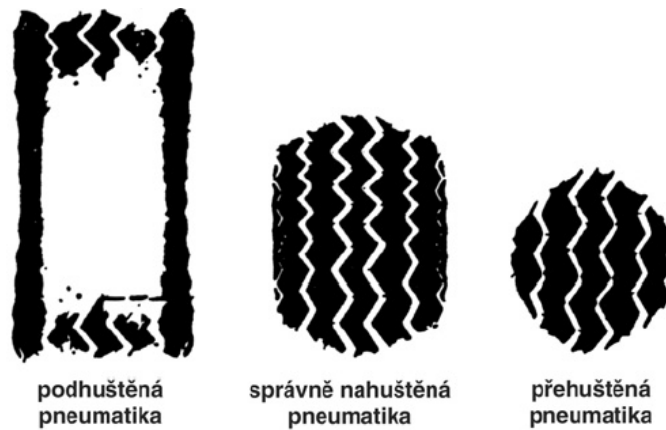
Pneumatika má tedy za úkol přenášet všechny síly, umožnit pohyb vozidla v důsledku valení a tvořit součást pérování vozidla svou pružností. Při plnění těchto funkcí musí pneumatika zajistit, aby jízda vozidlem byla ve všech jízdních režimech (akcelerace, brzdění, volná jízda po vodorovné, klesající nebo stoupající vozovce, při různých klimatických a povětrnostních podmínkách, jízda zatáčkou, atd.) co nejbezpečnější a co nej pohodlnější pro řidiče a posádku vozidla. Pneumatika musí zajistit dobrý tlumící efekt při průjezdu přes nerovnost. Zároveň však musí být zajištěn dostatečný kontakt pneumatiky s povrchem vozovky. Proto musí pneumatika mít schopnost nést určitou zátěž bez výrazné deformace, tlumit rázy, přenášet všechny síly, dobře reagovat na řízení, být rozměrově stabilní, vytvářet co nejméně hluku a vibrací.



- 1, běhoun
- 2, vrozek (pozitivní)
- 3, vzorek (negativní)
- 4, rameno pneumatiky
- 5, bočnice
- 6, kostra pneumatiky a patka pláště
- 7, patní lano
- 8, nárazník

Obr. 1.2 Konstrukční prvky pneumatiky [8]

Velikost valivého odporu závisí i na huštění pneumatiky. Na **Obr. 1. 3** jsou znázorněny dotykové plochy pneumatiky podhuštěné, přehuštěné a nahuštěné pneumatiky podle pokynů výrobce. Platí, že je-li pneumatika podhuštěna je valivý odpor větší, oproti tomu je-li přehuštěna, je menší. Navíc styk pneumatiky s vozovkou ovlivňuje i komfort a bezpečnost jízdy.



Obr. 1.3 Dotyková plocha pneumatiky při styku s vozovkou [6]

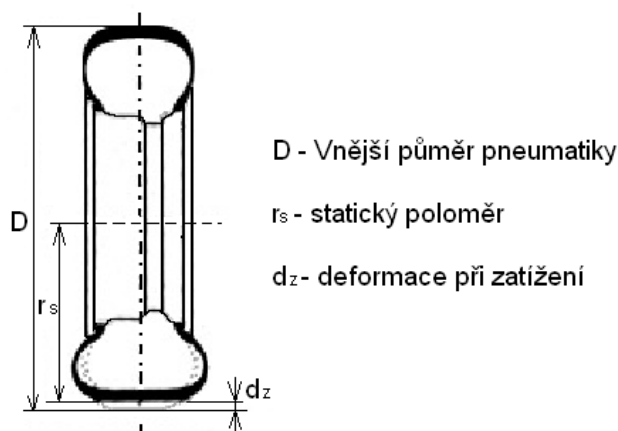
Pružnost pneumatiky

Pneumatika je pružná ve třech základních směrech:

- **Radiální pružnost pneumatiky**

Radiální pružnost pneumatiky je pružnost ve směru poloměru kola, je dána konstrukcí pneumatiky, předpětím stěn pláště vzduchem a charakterem deformace pneumatiky. Velikost radiální pružnosti pneumatiky je vyjádřena radiální tuhostí pneumatiky. Tato pružnost se podílí na pružení vozidla.

Statický poloměr je vzdálenost od středu kola k rovině, na které kolo stojí, a to při maximálním zatížení při doporučeném huštění, a je-li vozidlo v klidu.



Obr. 1.4 Statický poloměr kola [9]

Dynamický poloměr kola je vzdálenost středu radiálně zatíženého a otáčejícího se kola a rovinou vozovky, tedy úsek dráhy, kterou za každou otáčku kolo urazí, dělený 2π .

Matematicky to vychází ze vztahu:

$$o = 2\pi \cdot r \Rightarrow r = \frac{o}{2\pi} \quad (1.8)$$

kde: oobecně obvod, v tomto případě ujetá dráha

robecně poloměr, v tomto případě dynamický poloměr kola

Pneumatika přitom musí být zatížena na nejvyšší stanovenou únosnost a nahuštěna na tlak, odpovídající tomuto zatížení. V důsledku působení odstředivé síly a prokluzování otáčejícího se kola je účinný dynamický poloměr vždy větší než účinný statický poloměr. Při zvyšování radiálního zatížení, případně poklesu tlaku v pneumatikách dochází ke zmenšení dynamického poloměru.

- **Obvodová pružnost pneumatiky**

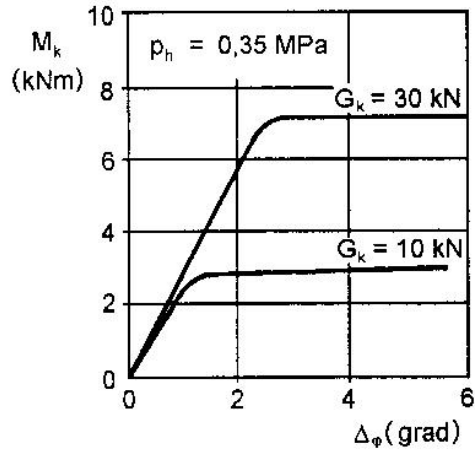
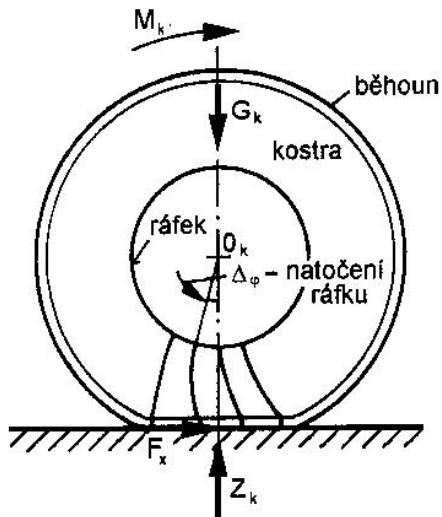
Při zatížení kola momentem nebo obvodovou silou se projevuje obvodová pružnost pneumatiky. Při tomto zatížení stojícího kola na nepohyblivé podložce dojde k pootočení ráfku vůči podložce o rozdíl úhlů $\Delta\varphi$ (**Obr.1.5 a**). Při menším zatížení je deformační charakteristika přibližně lineární (**Obr.1.5 b**). Obvodová tuhost se vypočítá podle vztahu:

$$c_\varphi = \frac{M_k}{\Delta\varphi} \quad (1.9)$$

kde: M_k moment působící na kolo, které stojí na nepohyblivé podložce

$\Delta\varphi$ natočení ráfku

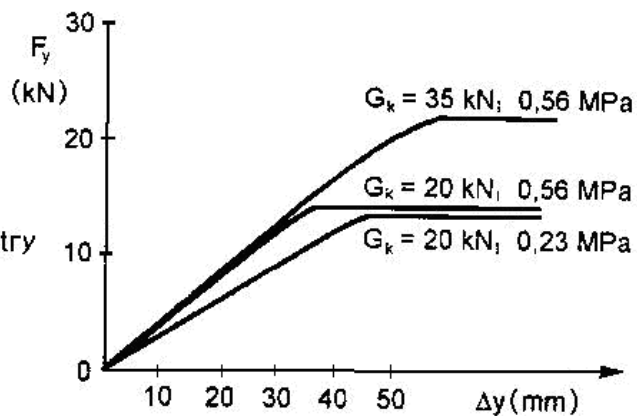
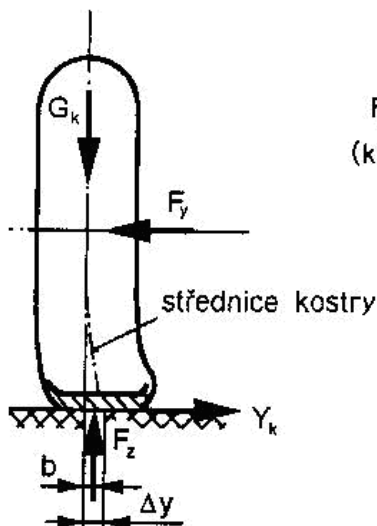
Obvodová pružnost závisí především na konstrukci pneumatiky. Zmírňuje torzní rázy v převodovém ústrojí, a tím zvyšuje životnost zejména ozubených kol a ložisek vozidla.



Obr. 1.5 a) Obvodová pružnost pneumatiky b) Obvodová deformační charakteristika [4]

- **Boční pružnost pneumatiky**

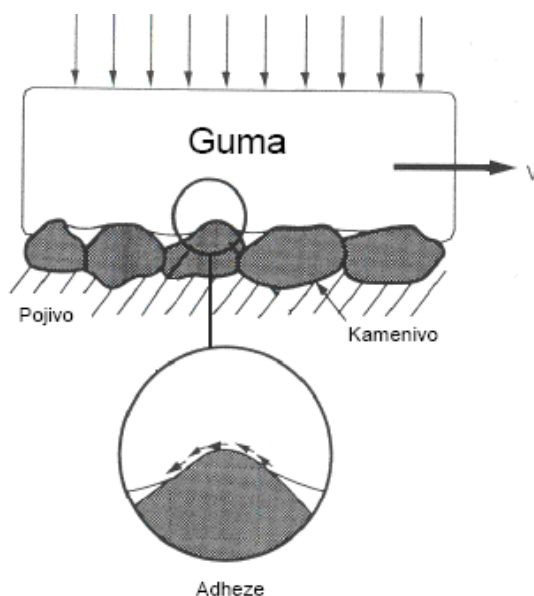
Boční pružnost pneumatiky způsobuje při zatížení boční silou F_y boční posunutí středu kola Δy (Obr.1.6a). Boční deformační charakteristika pneumatiky (Obr.1.6b) vyjadřuje závislost F_y na Δy . Toto boční posunutí středu kola je způsobeno deformací pneumatiky (deformace kostry pláště, běhounu a bočním klouzáním běhounu po podložce).



Obr. 1.6 a) Boční pružnost pneumatiky b) Boční deformační charakteristika [4]

1.1.2 Součinitel adheze

Na **Obr.1.7** je znázorněna guma pneumatiky při styku s vozovkou, po které se odvaluje. Ve spodní části obrázku je znázorněn vznik adheze. Adheze je obecně schopnost dvou různých materiálů k sobě přilnout. Při styku pneumatiky a vozovky je adhezí schopnost přenosu tečných sil. Tato schopnost je základem pohybu silničních vozidel. Velikost tečné reakce je omezena adhezní silou F_{ad} , která je největší silou, kterou je kolo vozidla schopno přenést při styku s povrchem vozovky při dané adhezní tíze. Adhezní tíha je tlaková síla na vozovku, kterou vyvolá kolo vozidla. Při jízdě je tato síla rovna radiální reakci kola Z_k .



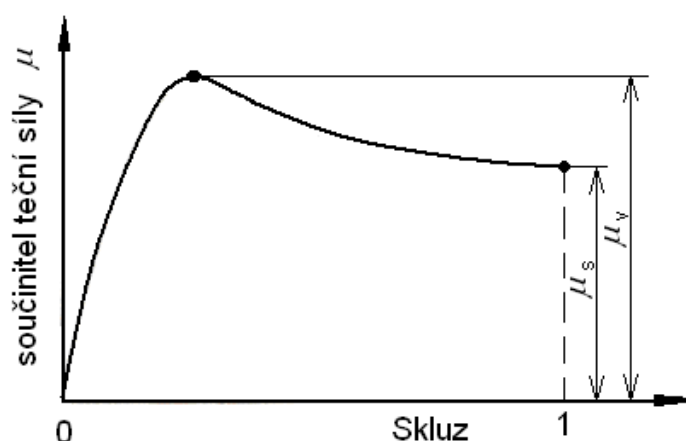
Obr. 1.7 Styk pneumatiky s vozovkou [20]

Součinitel tečné síly vyjadřuje poměr mezi působící tečnou silou a adhezní tíhou. Maximální hodnota součinitele tečné síly je nazývána součinitelem adheze, většinou je dosahována při skluzu 15 – 30 %. Maximální adhezní sílu potom vyjádříme ze vztahu:

$$F_{ad} = Z_k \cdot \mu \quad (1.10)$$

kde: Z_k radiální reakce kola

μ součinitel adheze



Obr. 1.8 Skluzová charakteristika pneumatiky [5]

Na **Obr.1.8** je znázorněna skluzová charakteristika pneumatiky. Kde na ose x je skluz pneumatiky od hodnoty 0 do hodnoty 1 (což odpovídá skluzu 100 %) a na ose y je velikost součinitele tečné síly. Maximální hodnota součinitele adheze bývá dosahována při skluzu (15 – 30) %. Velikost součinitele adheze je závislá na:

- povrchu pneumatiky - výška a tvar vzorku
- povrchu vozovky – součinitel adheze na suché vozovce bude větší, než na vozovce mokré a kluzké
- podmínkách mezi vozovkou a pneumatikou – rychlost jízdy, zatížení a huštění pneumatiky

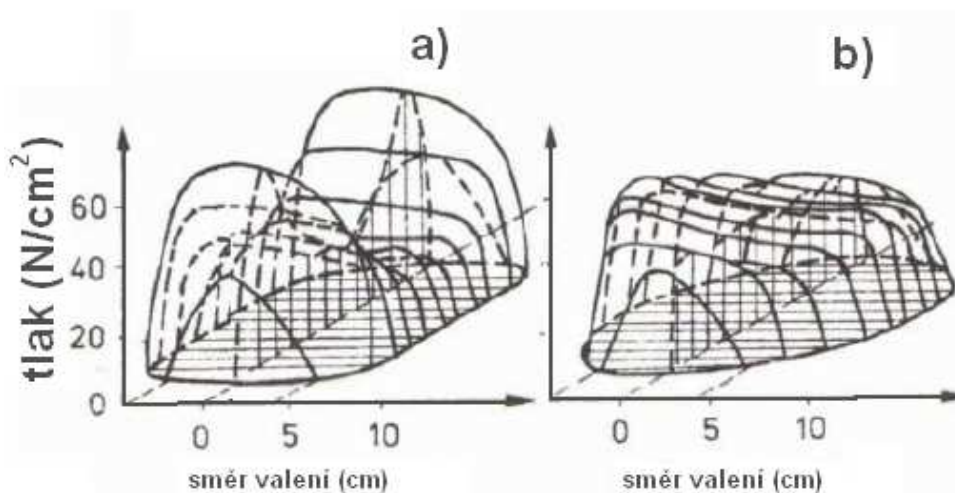
V následující tabulce jsou uvedeny orientační hodnoty součinitele adheze pro různé povrchy.

Tab. 1.1 Součinitele adheze pro různé povrchy

Povrch	<i>asfalt-suchý</i>	<i>asfalt-mokrá</i>	<i>beton</i>	<i>louka-nepokosená</i>	<i>písek - suchý</i>
Součinitel adheze [-]	0,7-0,9	0,3-0,5	0,7-1,0	0,5	0,3
Povrch	<i>ujetý sníh</i>	<i>náledí</i>	<i>makadam</i>	<i>louka-pokosená</i>	<i>polní cesta-suchá</i>
Součinitel adheze [-]	0,2-0,3	0,1	0,5-0,7	0,7	0,8

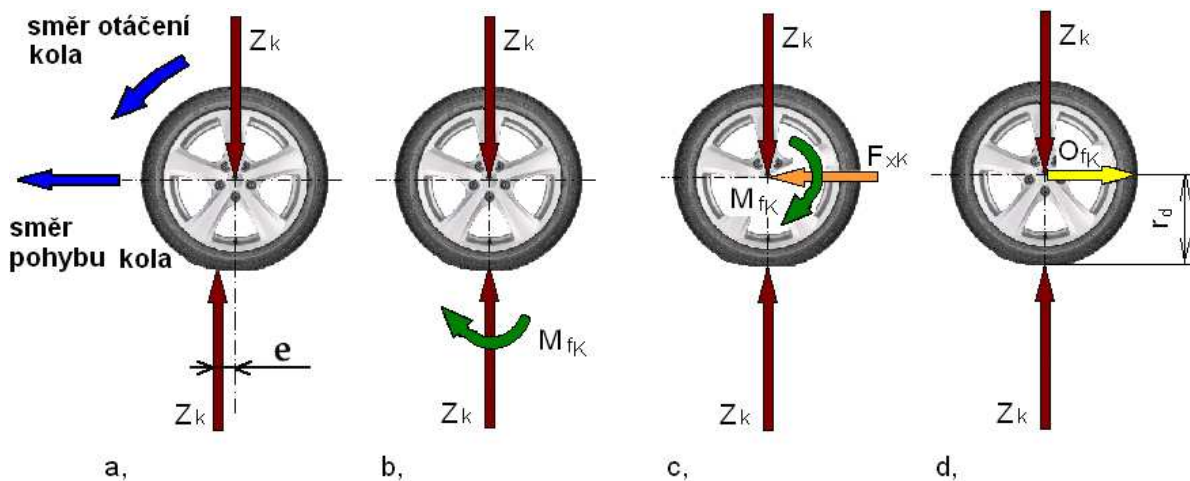
1.1.3 Valení kola

Valením kola vznikají ztráty energie (deformace pneumatiky a podložky – vozovka, terén), tyto ztráty se projevují odporem proti pohybu kola - tento odpor je nazýván odporem valivým. V případě tuhé vozovky dochází k deformaci jen pneumatiky. Ve směru valení dochází ke stlačování obvodu pneumatiky v přední části stopy (plocha styku pneumatiky s vozovkou), v zadní části stopy se obvod pneumatiky narovnáává do kruhového tvaru. Na **Obr.1.9 a,b**, je znázorněna závislost měrného tlaku na směru valení dle typu pneumatiky.



Obr. 1.9 Deformace pneumatiky a)radiální, b)diagonální [1]

Měrné tlaky jsou v přední části stopy větší, z tohoto důvodu je výslednice elementárních sil ve stopě pneumatiky – radiální reakce vozovky Z_K posunuta před svislou osu kola o velikost e (**Obr.1.10 a**). Reakce vozovky a zatížení kola je stejně velké Z_K , proto vzniká moment M_{fK} , který lze vyjádřit ze vztahu: $M_{fK} = Z_K \cdot e$, tento moment působí proti otáčení kola. (**Obr.1.10 b**) Z_K je přesunuta do osy kola a je zaveden moment M_{fK} , který vyvolá vodorovnou reakci O_{fK} . (**Obr.1.10 c**) O_{fK} směřuje proti pohybu kola, tzn. ve středu kola působí F_{fK} , kde platí: $O_{fK} = F_{fK}$, aby vznikla silová dvojice. Tato vodorovná reakce se nazývá valivý odpor kola (**Obr.1.10 d**).



Obr. 1.10 Moment valivého odporu kola a valivý odpor kola na volně se valícím kole
 Pozn.: vlastní úprava podle [11]

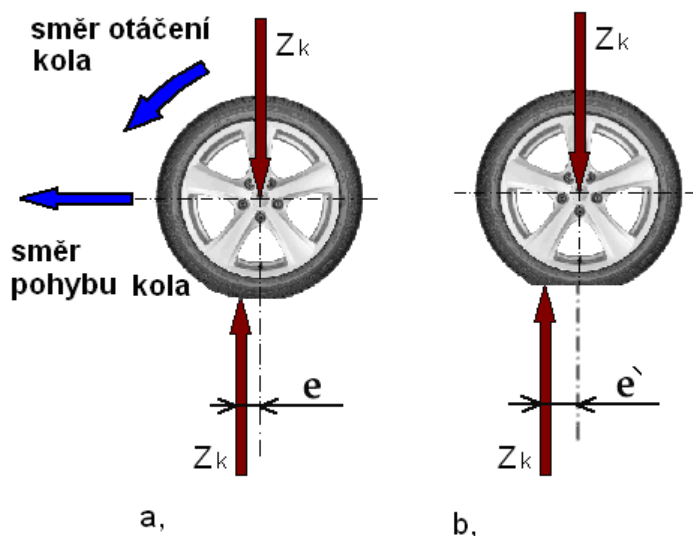
1.1.4 Součinitel valivého odporu

Součinitel valivého odporu f_K , závisí zejména na povrchu vozovky, rychlosti odvalujícího se kola a deformaci pneumatiky, přičemž deformace pneumatiky závisí především na jejím huštění. Velikost deformace je dána tlakem vzduchu v pneumatice, přičemž s jeho poklesem roste velikost deformační práce. V případě snížení tlaku v pneumatice dojde k posunutí (zvětšení) e , důvodem je zvětšení stykové plochy mezi pneumatikou a vozovkou (**Obr.1.11**). Navíc, pokud budeme uvažovat otáčení kola při vysokých rychlostech, dojde k tomu, že se v náběžné části stykové plochy nestačí účinky deformace pneumatiky vyrovnat, tím dojde ke snížení přítlaku mezi kolem a vozovkou v úběžné části pneumatiky. To vede k výraznému posunutí (zvětšení) e . Z toho plyne zvětšení i součinitele valivého odporu kola f_K , což je patrné ze vztahu:

$$f_K = \frac{e}{r_d} \quad (1.11)$$

kde: e posunutí radiální reakce vozovky

r_d dynamický poloměr kola

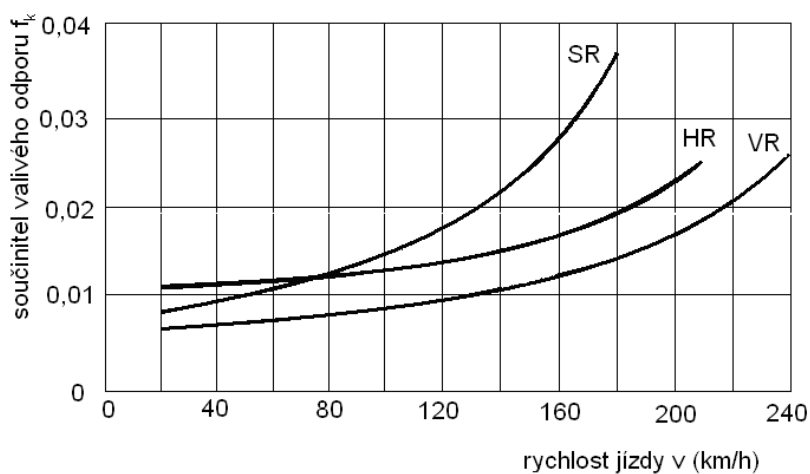


Obr. 1.11 Změna působíště síly Z_k při změně tlaku v pneumatice [10]

Tab. 1.2 Součinitel valivého odporu pro různé povrchy vozovky [1]

Povrch	<i>asfalt</i>	<i>dlažba</i>	<i>beton</i>	<i>travnatý terén</i>	<i>hluboký písek</i>
f_k [-]	0,01-0,02	0,02-0,03	0,015-0,025	0,08-0,15	0,15-0,30
Povrch	<i>čerství sníh</i>	<i>náledí</i>	<i>makadam</i>	<i>polní cesta-suchá</i>	<i>polní cesta-mokrá</i>
f_k [-]	0,20-0,30	0,01-0,025	0,03-0,04	0,04-0,05	0,08-0,20

Součinitel valivého odporu je závislý i na rychlosti jízdy (Obr.1.12), do dosažení tzv. kritické rychlosti jej lze považovat za konstantní. Pro osobní vozidla je podle obrázku tato rychlosti přibližně 80 km/h. Pro rychlosti nižší lze použít hodnoty z tabulky 1.2, kde jsou uvedeny hodnoty f_k pro různé povrchy. Pro rychlosti vyšší, než je kritická rychlost, začne f_k růst. Tempo růstu je závislé na typu pneumatiky.



Obr. 1.12 Závislost součinitele valivého odporu na rychlosti jízdy [1]

1.2 Odpor vzdušný O_v

Vzdušný odpor - jedná se o sílu, která směřuje proti relativnímu pohybu vozidla. Vzdušný odpor je vyvolaný prostředím, které vozidlo obklopuje a brání pohybu vozidla. Celkový vzdušný odpor se vypočítá ze vztahu:

$$O_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_x \cdot c_x \cdot v_r^2 \quad (1.12)$$

kde: ρ měrná hmotnost vzduchu

S_x čelní plocha vozidla

c_x součinitel vzdušného odporu

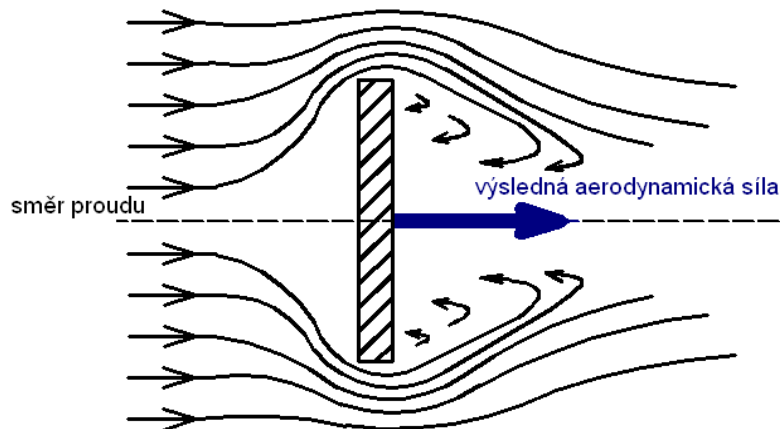
v_r výsledná rychlost proudění vzduchu kolem vozidla

Popis pro určení výsledné rychlosti proudění vzduchu kolem vozidla je uveden v kapitole 1.2.4. Tento parametr mění velikost vzdušného odporu s druhou mocninou, proto svého významu nabývá při vyšších rychlostech. V další části textu jsou popsány jednotlivé parametry, které jsou pro výpočet vzdušného odporu zapotřebí.

1.2.1 Aerodynamika těles

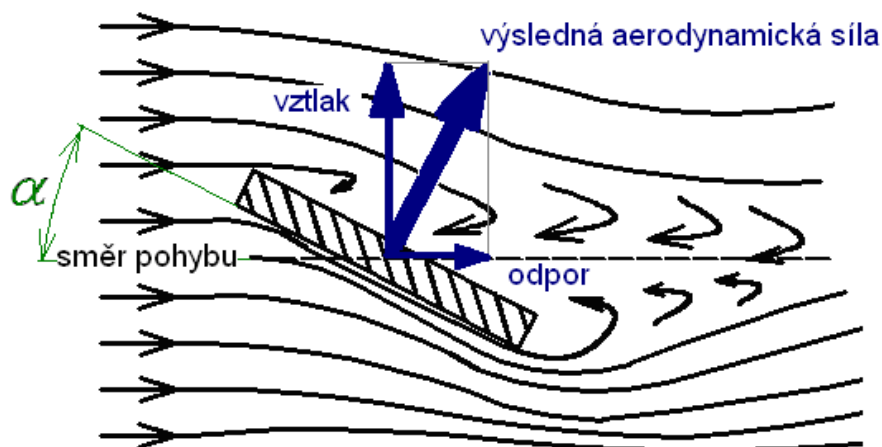
Na pohybující se těleso v určitém prostředí působí síla, která se nazývá odpor proti pohybu (vzniká při pohybu tohoto tělesa). Při nízkých rychlostech je odporová síla relativně malá a je považována za přímo úměrnou rychlosti pohybu.

U těles souměrných okolo osy, která leží ve směru proudu, působí výsledná síla vzduchu v této ose – výsledná (odporová) aerodynamická síla (**Obr.1.13**).



1.13 Směr působení výsledné aerodynamické síly u těles souměrných

Je-li obtékáno těleso nesouměrné nebo těleso souměrné, ale které je ve směru proudu nakloněno pod určitým úhlem, tak se v takovém případě výsledná aerodynamická síla rozkládá na dvě složky. Jednou složku kolmou ke směru proudu - vztlak, a také složku, která působí ve směru proudu – odpor (**Obr.1.14**).

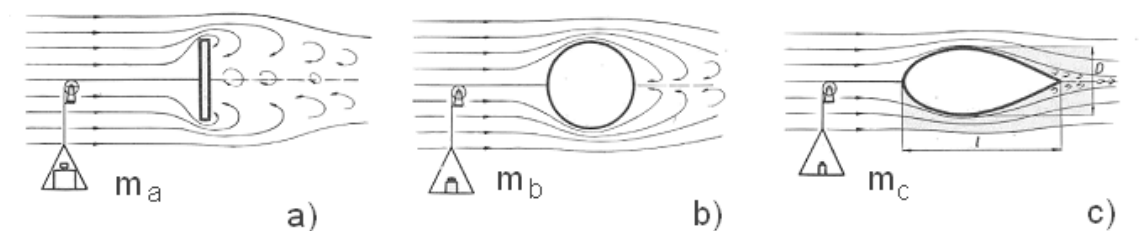


1.14 Rozklad výsledné aerodynamické síly na vztlak a odpor

Odpor profilu je složen ze dvou složek:

- tlakový odpor
- třecí odpor

Tlakový odpor



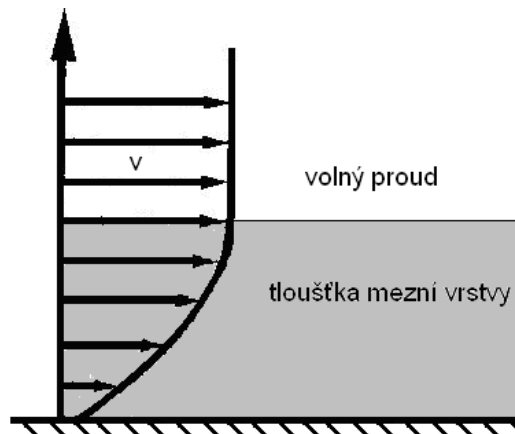
kde : $m_a > m_b > m_c$

1.15 Obtékání desky, koule a vřetenovitého tělesa proudem vzduchu [11]

Pro vysvětlení tlakového odporu je vhodný **Obr.1.15**, kde jsou obtékána tělesa vzduchem. Jedná se o: a) deska, b) koule a c) vřetenovité těleso. Všechny tři tělesa mají stejnou čelní plochu a jsou ofukovány vzduchem o stejné rychlosti. V případě **a**) na přední stranu desky naráží proud vzduchu a rozděluje se na obě strany. V prostoru za deskou se tvoří oblast vírů. Na přední straně desky ztrácí proud téměř svoji rychlost, proto se této části zvýší tlak. Na zadní straně desky dochází naopak k poklesu tlaku vlivem velkých rychlostí vířícího se vzduchu. Odpor vzduchu ve směru pohybu je potom způsoben přetlakem před deskou a podtlakem za deskou. U koule **b**) je vírová oblast způsobena, tím že proudnice na zadní straně nestačí kopírovat velké zakřivení koule. Vírová oblast je menší než u desky. A u vřetenovitého tělesa **c**) je vírové pole za tělesem nejmenší.

Třecí odpor

Je-li do proudu vzduchu vložena tenká deska (rovnoběžně se směrem proudu vzduchu), tak bude obtékána bez zjevných změn tvaru proudnic. Přesto by byl naměřen určitý odpor, který je způsoben třením. Při proudění vzduchu kolem povrchu desky se částice vzduchu, které jsou nejbližší povrchu, zbrzdí vlivem drsnosti a nerovnosti desky. Částice přímo u povrchu desky budou mít nulovou rychlost. Vzdálenější částice budou mít rychlost větší, až v určité vzdálenosti od povrchu bude stejně velká jako rychlost proudu vzduchu (**Obr.1.16**). Vrstva, ve které vzniká toto brzdění částic vzduchu se nazývá mezní vrstva.



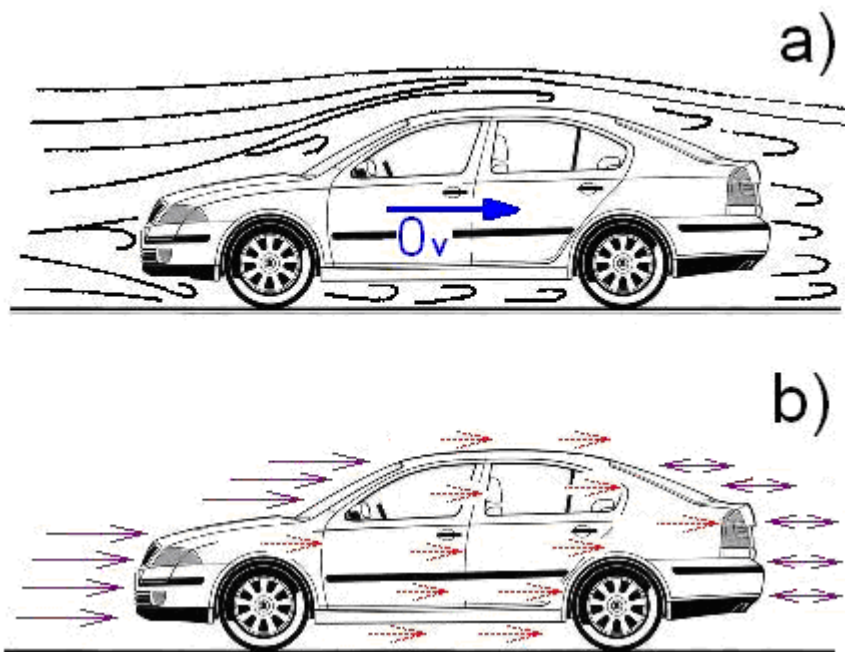
1.16 Mezní vrstva na povrchu rovné desky [12]

1.2.2 Vzdušný odpor působící na vozidlo

Při pohybu vozidla, stejně jako u těles (kapitola 1.2.1) působí na vozidlo odpor. Tento odpor se také dělí na odpor tlakový a třecí. Tlakový odpor je způsoben rozdílem tlaků před a za vozidlem. Za vozidlem nastává víření vzduchu, protože se proudnice (dráha částice vzduchu obtékající vozidlo) za vozidlem neuzavírají, tím vzniká vzdušný odpor O_v (Obr.1.17a). Proudnice lze dle tvaru rozdělit na:

- laminární (ustálené) – proudnice jsou přibližně rovnoběžné, jejich dráhy se vzájemně nekříží, částice se posouvají bez rotace,
- turbulentní (vířivé) – proudnice se roztáčejí a následně kříží.

Třecí síly vznikají vlivem viskozity vzduchu, proudění vzduchu kolem vozidla není beze ztrát. Částice vzduchu v blízkosti povrchu vozidla na něm ulpívají. Tyto částice vzduchu mají nulovou rychlost vůči vozidlu. Tyto třecí síly působí v tečném směru vzduchu kolem karoserie. Na Obr.1.17 b je znázorněno působení třecích a tlakových sil na vozidlo. Celkový vzdušný odpor vozidla zahrnuje také odpory vznikající průchodem vzduchu chladícím, větracím systémem a odpory vzniklé vířením a třením vzduchu u otáčejících se kol vozidla.



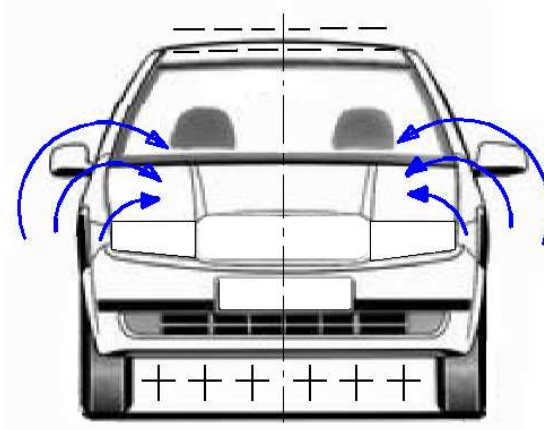
Obr. 1.17 a) Průběh proudnic vozidla obtékaného vzduchem, b) Vznik vzdušného odporu z tlakových sil (plné fialové šipky) a třecích sil (čárkované červené šipky)
Pozn.: vlastní úprava podle [1]

Největší část vzdušného odporu tvoří tlakový odpor (vyvolán rozdílem tlaků před a za vozidlem). Tento odpor tvoří podstatnou, ne však jedinou část odporu vzduchu. Celkový odpor vzduchu je ovlivněn tvarem a druhem karoserie. Podíl jednotlivých složek na celkovém odporu vzduchu [5] :

- tlakový odpor 50-80 %
- indukovaný odpor 0-30 %
- průchod chlazením a ventilací 8-20 %
- povrchové tření 3-10 %
- víření vzduchu koly až 5 %

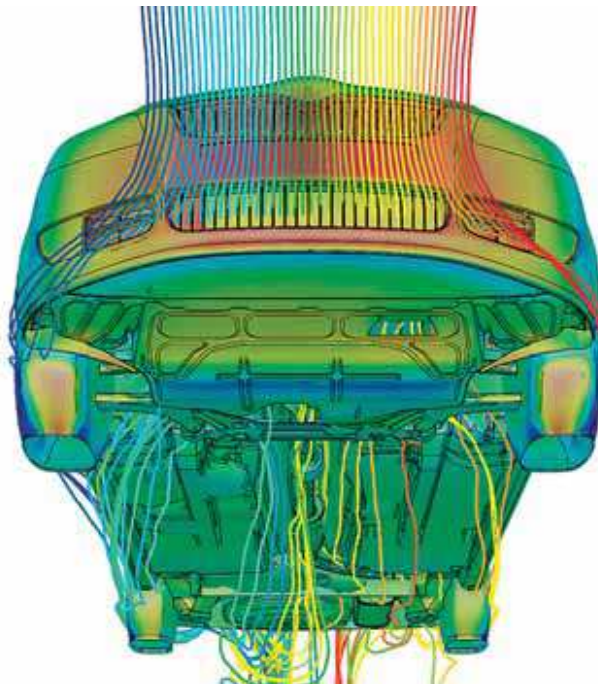
Indukovaný odpor

Příčinou tvorby indukovaného odporu je rozložení statických tlaků na povrchu karoserie. Indukovaný odpor vzniká především v důsledku rozdílů tlaků pod vozidlem (přetlak) a nad vozidlem (podtlak) – vznikají tak boční obtokové víry (**Obr.1.18**). Částice vzduchu, které jsou v oblasti vyšších tlaků, mají tendenci se pohybovat do oblastí nižších tlaků. Proto se částice přemísťují a vynikají víry. Rozdíl tlaků je vyrovnáván v příčné rovině vozidla.



Obr. 1.18 Vznik indukovaného odporu, Pozn.: vlastní úprava podle [4]

Na **Obr.1.19** jsou znázorněny tvary proudnic vzduchu z počítačové simulace. Jedná se o CFD (Computational Fluid Dynamics) – počítačovou analýzu dynamiky proudění. Moderní počítače dokážou posoudit vlivy detailů na aerodynamické vlastnosti. Pomocí CFD jde nasimulovat jak vnější tak vnitřní (prostor okolo cestujících) proudění částic vzduchu. Tento systém dokáže zachytit takové detaily, jako je např. vstupní otvor pro chladicí vzduch, prostor v okolí náprav, výfukového prostoru, atd. Díky tomu jde celková aerodynamika vozidla lépe optimalizovat, a to již při samotném návrhu vozidla. V aerodynamickém tunelu se již jen potvrzují nebo upřesňují správnosti předchozích analýz.



Obr. 1.19 Detail proudění vzduchu pod vozidlem škoda Roomster [8]

1.2.3 Vlastnosti vzduchu

Vzduch je prostředí, které obklopuje vozidlo a ovlivňuje jeho jízdní vlastnosti. Vzduch charakterizují jeho vlastnosti, do kterých patří: měrná hmotnost vzduchu, viskozita, teplota, tlak, vlhkost a pro účely této práce i rychlost a směr proudění.

Měrná hmotnost vzduchu ρ

Jedná se o fyzikální veličinu, která vyjadřuje míru hmotnosti na jednotku objemu. Závisí především na teplotě a tlaku vzduchu. Pro hustota vzduchu se uvádí hodnota [1] :

$$\rho = 1,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (1.13)$$

To odpovídá teplotě vzduchu $t_o = 15^\circ\text{C}$ a tlaku vzduchu $p_o = 1,013 \text{ bar}$. Pro jinou teplotu a tlak je zapotřebí měrnou hmotnost vzduchu přepočítat podle vztahu:

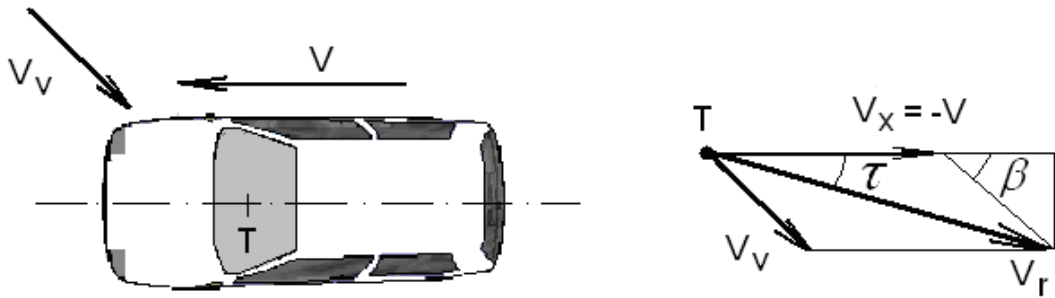
$$\rho = \rho_o \cdot \frac{p(t_o + 273)}{p_o(t + 273)} \quad (1.14)$$

Po úpravě

$$\rho = \frac{354p}{(t + 273)} \quad (1.15)$$

1.2.4 Výsledná rychlost proudění vzduchu kolem vozidla v_r

Na **Obr.1.20** je znázorněno složení rychlostí vzduchu a vozidla v bočním větru. Pohybuje-li se vozidlo dopředu a působí na něj rychlost bočního větru je zapotřebí určit relativní rychlost proudění vzduchu. Výsledná relativní rychlost vzduchu je potom složena z relativní rychlosti vzduchu za bezvětří a rychlost bočního větru, který dle **Obr.1.20** svírá s podélnou rovinou úhel β .



- kde: V rychlost jízdy vozidla
 V_xrelativní rychlost vzduchu
 V_vrychlost větru
 V_r výsledná relativní rychlost vzduchu
 β úhel, který svírá podélná osa vozidla se směrem větru
 τ úhel který svírá V_x a V_r

Obr. 1.20 Složení rychlostí vzduchu a vozidla v bočním větru

Pozn.: vlastní úprava podle [4]

Pro výslednou rychlost proudění vzduchu kolem vozidla v_r platí vztah:

- **Pro protivítr:**
$$v_r = v_x + v_v \cdot \cos \beta \quad (1.16)$$

- **Pro vítr „v zádech“:**
$$v_r = v_x - v_v \cdot \cos \beta \quad (1.17)$$

kde: v_x rychlost ve směru osy x

v_v rychlost větru

1.2.5 Čelní plocha vozidla

Čelní plocha vozidla S_x je plocha, která se promítne na projekční stěnu vlivem nasvícením vozidla paralelním světlem (**Obr.1.21**).



Obr. 1.21 Projekce čelní plochy vozidla

Pozn.: vlastní úprava podle [1]

K určení velikosti čelní plochy vozidla lze použít několik metod, mezi které patří:

- Projekční metoda - z **Obr.1.21** je patrný princip metody, který spočívá v nasvícení roviny kolmé k ose vozidla světlem, kde je následně obrys vozidla promítán na projekční stěnu.
- Použití laserového měřicího systému (**Obr.1.22**) – vozidlo je postaveno mezi laserové zařízení a projekční stěnu. Laserový paprsek je vysílán rovnoběžně s podélnou osou vozidla na projekční stěnu. Mechanismus umožňuje pohyb měřicí hlavy jak ve vertikálním tak horizontálním směru. Díky tomu jsou postupně zjišťovány souřadnice obrysu vozidla. Následně je ze souřadnic dopočítána plocha, kterou ohraničuje obrys vozidla. Tato metoda je velice přesná, rychlá a na rozdíl oproti projekční metodě vyžaduje menší nároky na prostor. Nevýhodou jsou ovšem větší náklady na provedení měření touto metodou.



Obr. 1.22 Zjišťování čelní plochy pomocí laserového paprsku

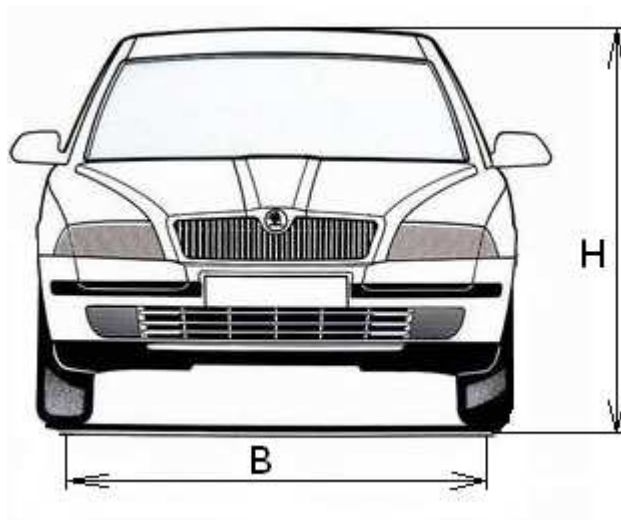
Pozn.: vlastní úprava podle [1]

- Výpočet čelní plochy z výkresu vozidla pomocí počítače a příslušného softwaru např. AutoCad (pomocí funkce v menu – vypočítat definovanou plochu)
- Pokud nelze měření čelní plochy provést, tak lze použít zjednodušený vztah:

$$S_x = B \cdot H \quad (1.18)$$

kde: H.....celková výška vozidla

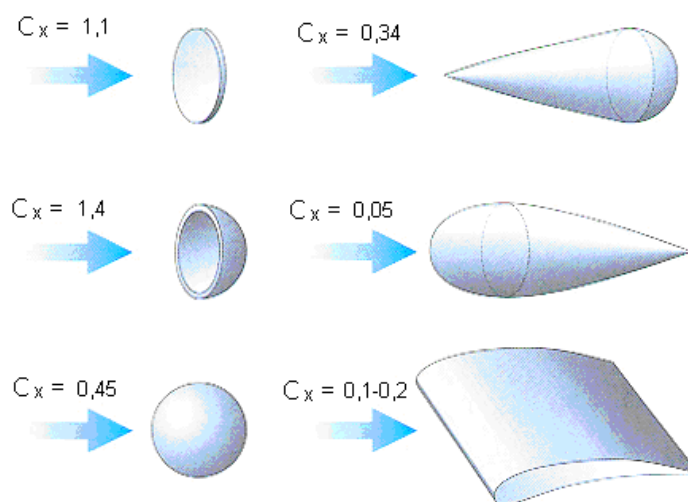
B.....rozchod kol vozidla



Obr. 1.23 Obrys vozidla [14]

1.2.6 Součinitel vzdušného odporu C_x

Součinitel vzdušného odporu vyjadřuje závislost odporu prostředí na tvaru tělesa. U vozidla je ukazatelem tvarů z hlediska obtékání jeho karoserie vzduchem. Na **Obr.1.24** je znázorněno, jaký vliv má tvar tělesa na velikost součinitele odporu vzduchu C_x .



Obr. 1.24 Hodnoty C_x v závislosti na tvaru tělesa [15]

V následující **tabulce 1.3** jsou uvedeny konkrétní hodnoty C_x na vybraných vozidlech.

Tab. 1.3 hodnoty C_x u několika vozidel [17]

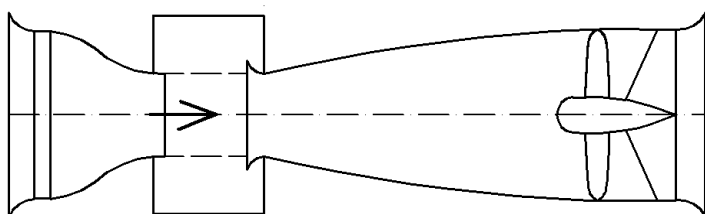
vozidlo	rok výroby	hodnota C_x
Honda civic	2001	0,36
Mini cooper	2008	0,35
Audi A3	2006	0,33
Peugeot 206	1998	0,33
Peugeot 406	1995	0,32
Škoda octavia	2000	0,31
Mazda 3	2010	0,28
Citroen C4	2004	0,28
Mazda 6	2009	0,27
Opel calibra	1989	0,26
Aptera Typ-1	2008	0,15

Určování součinitele odporu vzduchu

Součinitel odporu vzduchu je možno určit několika způsoby. Jedním z nich je experimentální a to z výsledků dojezdové zkoušky. Nebo také v aerodynamickém tunelu – jedná se o zařízení, kde je možno vytvářet regulovatelný vzdušný proud. Hodnota C_x je zjišťována na reálném vozidle nebo na modelu vozidla vyrobeného v příslušném poměru. Na základě vyhodnocení pak lze zkoumat aerodynamiku těles (v tomto případě vozidla).
Základní dělení aerodynamických tunelů:

- Otevřený aerodynamický tunel

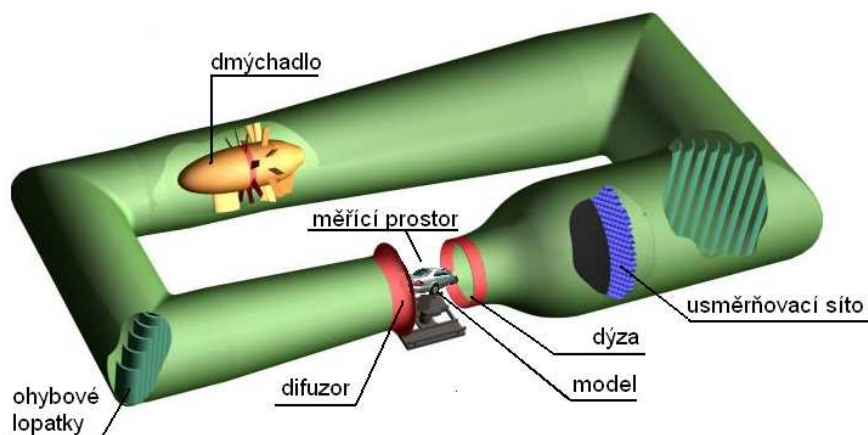
V otevřeném tunelu se vzduch pohybuje směrem naznačeným na **Obr.1.25** šipkou. Vzduch je pomocí dmýhadla nasáván z jedné strany tunelu, potom proudí prostorem, kde je umístěno měřené vozidlo a dále potrubím pryč z tunelu.



Obr. 1.25 Otevřený aerodynamický tunel [1]

- Uzavřený aerodynamický tunel

Hlavní rozdíl mezi uzavřeným a otevřeným aerodynamickým tunelem je v tom, že vzduch, které je vháněn, aby proudil okolo měřeného vozidla, proudí dokola v uzavřeném potrubí (**Obr.1.26**).



Obr. 1.26 Uzavřený aerodynamický tunel, Pozn.: vlastní úprava podle [16]

Jeden z moderních aerodynamických tunelů pro výzkum a vývoj vozidel využívá německá automobilka BMW group [21]:



Obr. 1.27 Vnější pohled na aerodynamický tunel automobilky BMW [21]

Tab. 1.4 Technické parametry aerodynamických tunelů BMW [21]

PARAMETRY	velký tunel Aerolab	malý tunel Aerolab
průměr axiálního dmýchadla	8 m	6,3 m
otáčky	300 1/min	400 1/min
příkon dmýchadla	4400 kW	3800 kW
největší rychlost proudění	300 km/h	300 km/h
rozměry vnitřního prostoru d/š/v	22/16/13 m	20/14/11 m

Zde mají k dispozici velký a malý tunel Aerolab. Větší je určen především pro vozidla reálných rozměrů, oproti tomu menší pro modely vozidel, které jsou zhotoveny ze speciálního materiálu (výhodou je jejich možná úprava dle potřeby). Obecně pak aerodynamické tunely slouží k proudové optimalizaci automobilů tedy ke snížení vzdušného odporu. Principem při zjišťování vzdušného odporu v aerodynamickém tunelu je měření sil a momentů vyvolaných proudícím vzduchem, a to ve třech směrech pomocí šestikomponentních vah. Dále se pomocí kouřových sond (**Obr.1.28**) zjišťuje, kde dochází ke vzniku turbulencí, aby se případně tato místa dala eliminovat.



Obr. 1.28 Model vozidla s proudícím kouřovým proudem [21]

Na **Obr.1.29** je znázorněn model v aerodynamickém tunelu. Jedná se o model vyroben v měřítku 1:2 oproti reálnému vozidlu. Při určování vzdušného odporu, potažmo součinitele vzdušného odporu, je zapotřebí ofukovat model dvojnásobnou rychlostí proudícího vzduchu než by tomu bylo v případě modelů vyrobeného v poměru 1:1 nebo reálného vozidla. V **tab.1.4** je uvedena největší rychlost proudění, která dosahuje hodnoty 300 km/h, tuto rychlost vyvine axiální dmýchadlo, jehož průměr je 8 m. Pro model 2:1 to znamená, že simulace podmínek reálného provozu na 150 km/h. Dále jsou na obrázku znázorněna ramena, na kterých se otáčejí kola a plošina, která simuluje relativní pohyb vozovky oproti vozidlu. V horní části obrázku je znázorněno zařízení pro určení sil a momentů vyvolaných proudícím vzduchem. Dokáže vyvinout proud vzduchu o rychlosti až 300 km/h.



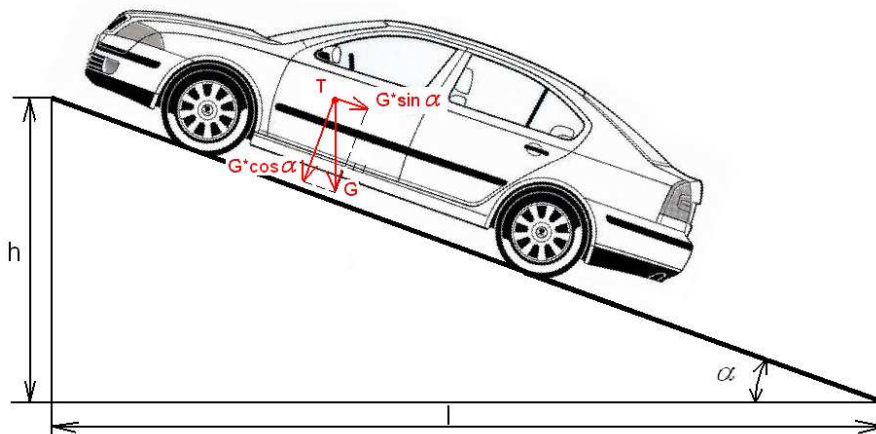
Obr. 1.29 Model vozidla v aerodynamickém tunelu [21]

1.3 Odpor stoupání O_s

Odpor stoupání vzniká při jízdě vozidla na podélném svahu. Jeho velikost určuje sinová složka tíhy vozidla (Obr.1.30). Kde G je celková tíha vozidla a úhel α je úhel, který svírá vodorovná rovina s rovinou vozovky. Velikost odporu stoupání je dána vztahem:

$$O_s = \pm G \cdot \sin \alpha \quad (1.19)$$

kde znaménko plus platí pro vozidlo jedoucí do svahu (je odporem proti pohyb vozidla) a naopak znaménko mínus je pro vozidlo jedoucí ze svahu (napomáhá pohybu vozidla).



Obr. 1.30 Vznik odporu stoupání, Pozn.: vlastní úprava podle [1]

Odpor stoupání působí v těžišti T. Při výpočtech pro malé úhly (kde $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$) může být pro výpočet použit vztah:

$$O_s = \pm G \cdot s \quad (1.20)$$

kde pro stoupání s platí:

$$s = \frac{l}{h} = \operatorname{tg} \alpha \quad (1.21)$$

Vztah 1.21 lze použít pro stoupání do 17° , což odpovídá stoupání $0,3 \Rightarrow 30\%$. Na silnicích jsou obvykle maximální hodnoty stoupání 10 – 12% (výjimku mohou tvořit vysokohorské silnice). Odpor stoupání bývá (v určitých případech) největší z jízdních odporů. Ovšem u provádění dojezdové zkoušky bývá nulový. Důvodem je, že měřicí úsek je dostatečně vodorovný (musí vyhovovat požadavkům dle ČSN 30 0554 Dojezdová zkouška silničních motorových vozidel).

1.4 Odpor zrychlení O_z

Setrvačný odpor vzniká při změně rychlosti jízdy vozidla. Při zrychlování vozidla působí protisměru jízdy, naopak při zpomalování po směru jízdy vozidla. Velikost setrvačného odporu je dána vztahem:

$$O_z = O_{zp} + O_{zr} \quad (1.22)$$

skládá se ze dvou složek:

- Z odporu zrychlení posuvné části o hmotnost

$$O_{zp} = m \cdot a \quad (1.23)$$

kde: m.....hmotnost vozidla

a.....zrychlení (zpomalení) vozidla

- Z odporu zrychlení otáčejících se částí

$$O_{zr} = \frac{M_r}{r_d} \quad (1.24)$$

kde: M_r setrvačný moment rotačních částí vozidla

r_d dynamický poloměr kola

$$M_r = M_{rm} + M_{rp} + M_{rK} \quad (1.25)$$

Potom setrvačný moment rotačních částí vozidla se dle rovnice (1.25) skládá z M_{rm} - momentu na hnacích kolech vozidla (potřebný na zrychlení rotujících částí motoru), M_{rp} - momentu, který je nutný pro zrychlení rotujících částí převodového ústrojí a M_{rK} - momentu, který je potřebný ke zrychlení kol vozidla.

Výsledný odpor zrychlení lze uvést ve tvaru:

$$O_z = \left[1 + \frac{(J_m \cdot i_c^2 + J_p \cdot i_r^2) \cdot \eta + \sum J_{Ki}}{m \cdot r_d^2} \right] \cdot m \cdot a = \vartheta \cdot m \cdot a \quad (1.26)$$

kde: J_m hmotnostní moment setrvačnosti rotujících částí motoru

i_c celkový převod mezi motorem a hnacími koly

J_p hmotnostní moment setrvačnosti rotujících částí převodového ústrojí

i_r převod rozvodovky

η mechanická účinnost

J_{Ki} hmotnostní moment setrvačnosti rotujících kol vozidla

ϑ součinitel vlivu rotačních částí

Součinitel vlivu rotačních částí

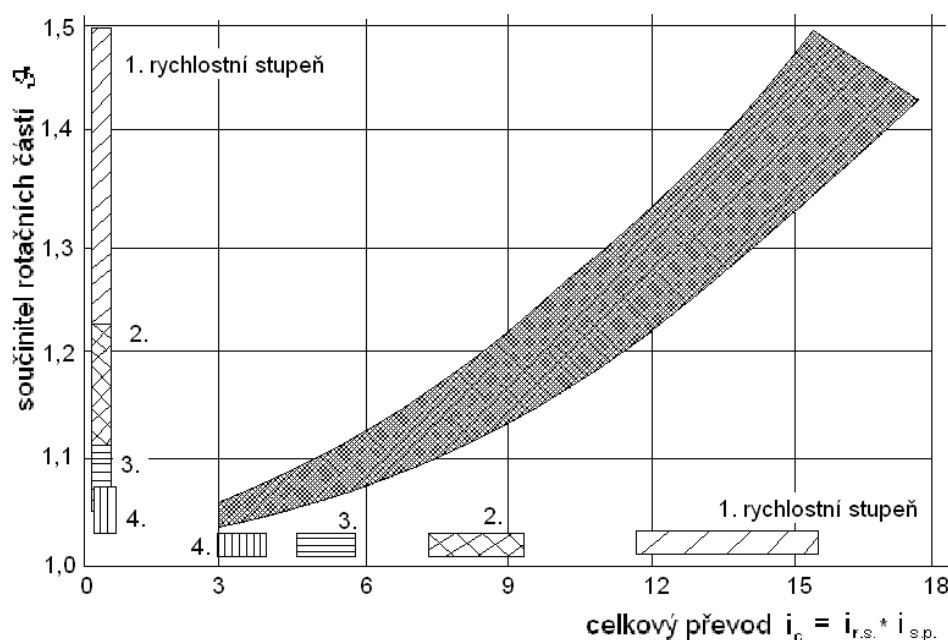
Ze vztahu (1.26) je patrné, že výpočet součinitele vlivu rotačních částí, závisí jak na parametrech konstantních (momenty setrvačnosti, poloměr kola), tak na parametrech proměnlivých (převodový poměr, hmotnost vozidla). Proto je hodnota součinitele ϑ proměnlivá. Pro výpočet je navíc velmi složité určit momenty setrvačnosti rotujících částí vozidla. Pro jednoduchost lze při výpočtu použít hodnoty součinitele ϑ z **tab.1.5**.

V následující tabulce jsou uvedené orientační hodnoty součinitele vlivu rotačních částí pro osobní a nákladní vozidla.

Tab. 1.5 Informativní průměrné hodnoty součinitele rotačních částí [5]

Vozidlo	Součinitel rotačních částí	
	Nejvyšší rychlostní stupeň	Nejnižší rychlostní stupeň
Osobní	1,04 - 1,07	1,2 - 1,8
Nákladní silniční	1,06 - 1,1	1,4 - 3
Nákladní terénní	1,08 - 1,25	5 - 8

Diagram na (**Obr.1.31**) graficky znázorňuje rozmezí hodnot součinitele ϑ v závislosti na celkovém převodu. Celkový převod je dán součinem převodového poměru stálého převodu a převodového poměru zařazeného rychlostního stupně. Proto účinek rotačních částí závisí na aktuálním zařazeném rychlostním stupni.



Obr.1.31 Závislost celkového převodu na součiniteli rotačních částí u osobních vozidel[1]

1.5 Odpor přívěsu O_p

Odpor přívěsu je síla (**Obr.1.32**), která působí při tahu přívěsu v ose spojovacího mechanismu mezi vozidlem a taženým přívěsem.

Na přívěs, stejně jako na vozidlo působí jízdní odpory (odpor valivý, vzduchu stoupání, zrychlení, případně i dalšího přívěsu), které lze určit stejným postupem jako u vozidla. Ovšem vzdušný odpor se neurčuje pro přívěs samostatně, ale jako celek (tzn. vozidlo s přívěsem popř. jízdní souprava), kde se potom součinitel vzdušného odporu c_x měří pro

automobil s přívěsem, popřípadě tahač s návěsem dohromady. Určení odporu přívěsu je nezbytné, protože značně zvyšuje potřebnou hnací sílu vozidla.



1.32 Působení odporu od přívěsu, Pozn.: vlastní úprava podle [14]

2 Výkon motoru a přenos hnací síly

2.1 Vnější otáčková charakteristika motoru

Hnací síla je síla, která je přenesena od pohonné jednotky na kola vozidla. Aby vozidlo bylo schopno pohybu, musí být hodnota hnací síly v každém okamžiku minimálně rovna hodnotě odpovídající okamžitému celkovému odpor působícího na vozidlo. Hnací výkon k překonání jízdních odporů, který musí být přiveden na kola vozidla lze určit ze vztahu:

$$P_H = F_H \cdot v = \frac{M_k}{r_d} \cdot v \quad (2.1)$$

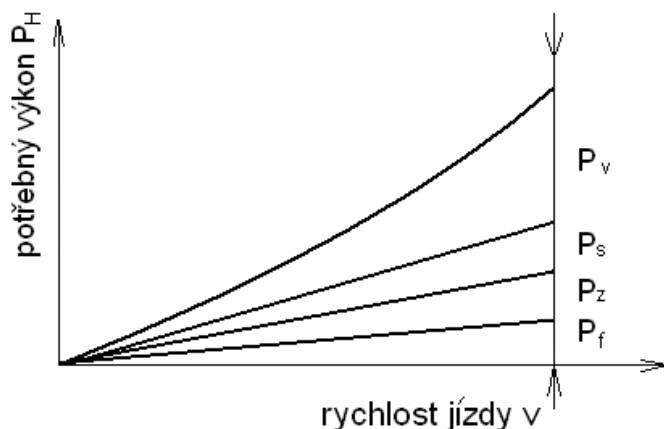
Po dosazení do rovnice (1.1) dostaneme vztah:

$$P_H = (O_f + O_v + O_s + O_z + O_p) \cdot v \quad (2.2)$$

Za předpokladů, že vozidlo natáhne přívěs (odpor přívěsu nulový), za bezvětří (výsledná relativní rychlost vzduchu je rovna rychlosti vozidla, tak po dosažení do rovnice 2.2 dostaneme vztah:

$$P_H = f \cdot G \cdot \cos \alpha \cdot v + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_x \cdot c_x \cdot v^3 + G \cdot \sin \alpha \cdot v + \vartheta \cdot m \cdot a \cdot v \quad (2.3)$$

Ze vztahu je patrné, že potřebný výkon pro překonání odporu valivého, stoupání a zrychlení vzrůstá lineárně s rychlostí jízdy v . Ovšem potřebný výkon pro překonání odpor vzdušného vzrůstá s třetí mocninou rychlosti jízdy v . Na **Obr.2.1** je znázorněn graf potřebného výkonu v závislosti na rychlosti jízdy. Z uvedené závislosti je patrný lineární nárůst potřebného hnacího výkonu při překonávání odporu valivého, stoupání a zrychlení, ale u odporů vzdušného je průběh potřebného výkonu nelineární.



Obr. 2.1 Potřebný výkon pro překonání jízdnicích odporů [1]

Mezi výkonem a točivým moment platí následující vztah:

$$P_m = M_m \cdot \omega \Rightarrow M_m = \frac{P_m}{\omega}, \text{ pro uhlovou rychlost } \omega \text{ platí vztah: } \omega = 2\pi \cdot n$$

Po dosažení dostaneme vztah :

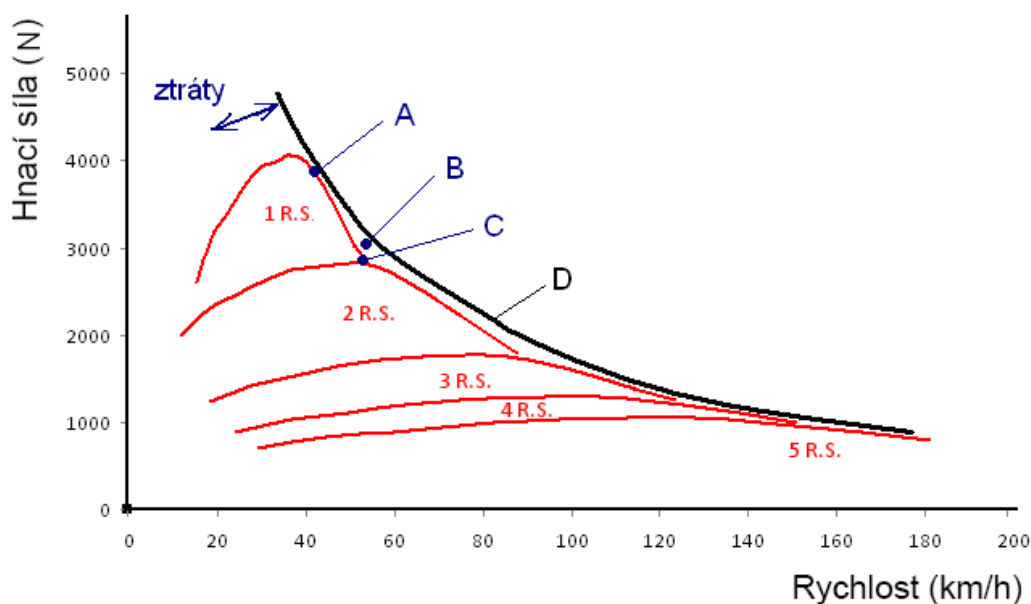
$$M_m = \frac{P_m}{2\pi \cdot n} \quad (2.4)$$

Tento vztah platí, pokud do něj budou dosazeny hodnoty v základních jednotkách. Jelikož se výkon motoru P_m udává mnohem častěji v jednotkách kW a otáčky motoru v jednotkách min^{-1} , je výhodnější dosazovat přímo s těmito běžně udávanými jednotkami. Aby i nadále platila rovnost, je zapotřebí použít upravený vztah:

$$M_m = 9550 \cdot \frac{P_m}{n} \quad (2.5)$$

V tomto vztahu mají parametry následující jednotky: M_m [Nm], P_m [kW], n [min^{-1}].

2.2 Trakční diagram



Obr. 2.2 Trakční diagram [20]

Na Obr.2.2 je znázorněn diagram závislosti hnací síly na rychlosti jízdy, kde červeně jsou zobrazena hnací síla pro jednotlivé rychlostní stupně. Z diagramu: A - zobrazuje bod, který odpovídá maximálnímu výkonu, B – zobrazuje oblast nevyužitého výkonu, C – zobrazuje optimální bod řazení, D – poukazuje na křivku, která znázorňuje konstantní výkon motoru. Pomocí trakčního diagramu lze vyjádřit přehledně některé dynamické vlastnosti vozidla, jedná se zejména o maximální rychlost vozidla po rovině, stoupavost na jednotlivé rychlostní stupně, také lze podle něj určit, jaký rychlostní stupeň je při jízdě do určitého stoupání zapotřebí zařadit.

Jedná se o grafické vyjádření následující rovnice, jde o soustavu křivek:

a, jízdnicích odporů (pravá strana rovnice)

b, křivek hnací síly (levá strana rovnice)

$$F_H = O_f + O_v + O_s + O_z + O_p \quad (2.6)$$

kde hnací sílu lze vyjádřit:

$$F_H = \frac{M_k \cdot i_c \cdot \eta}{r_d} \quad (2.7)$$

kde: M_k kroutící moment motoru

i_c celkový převodový poměr

η účinnost převodového ústrojí

r_d dynamický poloměr kola

Celkový převod se mění podle zařazeného převodového stupně, lze jej vypočítat ze vztahu:

$$i_c = i_{s.p.} + i_{r.s.} \quad (2.8)$$

kde: $i_{s.p.}$ převodový poměr - stálý převod

$i_{r.s.}$ převodový poměr pro konkrétní rychlostní stupeň

Proto existuje u jednoho vozidla několik hnacích křivek (podle počtu rychlostních stupňů). Nevyužije-li vozidlo celou hnací sílu k překonání jízdních odporů pak je přebytek síly (nad jízdními odpory) k dispozici pro případnou akceleraci vozidla. Kde pro maximální zrychlení platí vztah:

$$a_v = \frac{F_p}{m_v \cdot \vartheta} \quad (2.9)$$

kde: a_v zrychlení vozidla

F_p přebytek síly

m_v hmotnost vozidla

ϑ součinitel vlivu rotačních částí

Konstrukce trakčního diagramu

Než se začne se samotným výpočtem a určení trakčního diagramu je potřeba zjistit technické parametry vozidla, pro které se trakční diagram konstruuje. Je to zejména charakteristika motoru, převodový poměr (jednotlivých převodových stupňů a stálý převod), dynamický poloměr kola, hmotnost vozidla, čelní plochu vozidla a účinnost převodového ústrojí.

Postup při konstrukci trakčního diagramu (v příkladu jsou uvedeny vypočtené hodnoty pro vozidlo škoda Fabia kombi 1,4 MPi 50 kW²):

- Výpočet teoretické rychlosti při zařazených jednotlivých stupních a konkrétních otáčkách. Toto lze určit ze vztahu:

$$v = 2\pi \cdot r_d \cdot \frac{n_m}{i_c} \quad (2.10)$$

kde: r_d dynamický poloměr kola

n_m otáčky motoru

i_c celkový převodový poměr

- Výpočet maximální teoretické rychlosti (viz. postup bod první, rov. 2.10)

V následující tabulce jsou uvedeny konkrétní hodnoty vypočítané maximální teoretické rychlosti.

Tab. 2.1 Maximální teoretická rychlost pro jednotlivé převodové stupně (a při určitých otáčkách motoru)

Otáčky motoru (1/min)	v(km/h) 1.R.S.	v(km/h) 2.R.S.	v(km/h) 3.R.S.	v(km/h) 4.R.S.	v(km/h) 5.R.S.	v(km/h) zpátečka
1000	7,4	13,1	19,6	26,3	33,9	8,8
1500	11,1	19,6	29,4	39,4	50,9	13,2
2000	14,8	26,2	39,1	52,6	67,8	17,5
2500	18,5	32,7	48,9	65,7	84,8	21,9
3000	22,2	39,3	58,7	78,9	101,7	26,3
3500	25,9	45,8	68,5	92,0	118,7	30,7
4000	29,6	52,4	78,3	105,2	135,6	35,1
4500	33,3	58,9	88,1	118,3	152,6	39,5
5000	37,0	65,5	97,8	131,5	169,5	43,8
5500	40,7	72,0	107,6	144,6	186,5	48,2

- Výpočet hnacích sil pro jednotlivé teoretické rychlosti, výpočet z rovnice (2.7)

² Trakční diagramy pro všechna použitá vozidla jsou uvedeny v příloze 6

Tab. 2.2 Hodnoty vypočítané hnací síly pro jednotlivé teoretické rychlosti

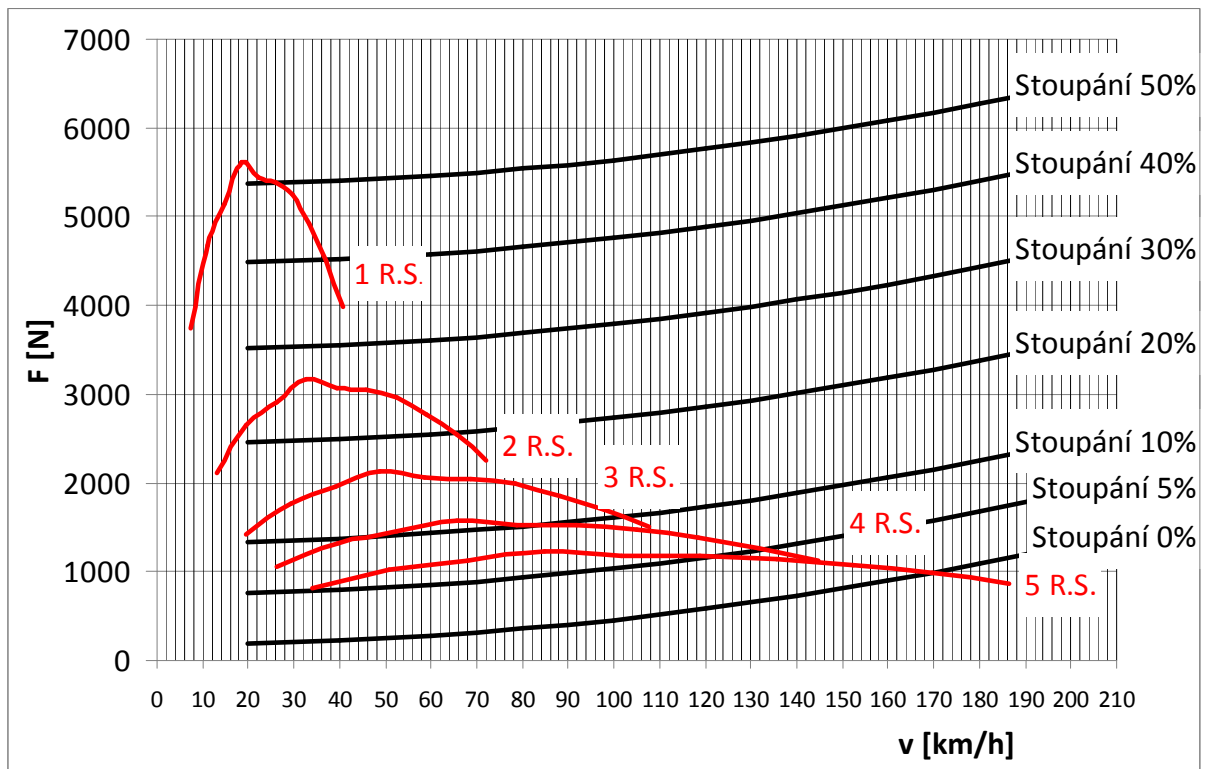
1.R.S.										
Fh (N)	3747,4	4684,3	4918,5	5621,1	5433,8	5386,9	5246,4	4918,5	4496,9	3981,6
v (km/h)	7,4	11,1	14,8	18,5	22,2	25,9	29,6	33,3	37,0	40,7
2.R.S.										
Fh (N)	2118,3	2647,9	2780,3	3177,5	3071,6	3045,1	2965,7	2780,3	2542,0	2250,7
v (km/h)	13,1	19,6	26,2	32,7	39,3	45,8	52,4	58,9	65,5	72,0
3.R.S.										
Fh (N)	1418,0	1772,5	1861,1	2127,0	2056,1	2038,4	1985,2	1861,1	1701,6	1506,6
v (km/h)	19,6	29,4	39,1	48,9	58,7	68,5	78,3	88,1	97,8	107,6
4.R.S.										
Fh (N)	1055,4	1319,2	1385,2	1583,1	1530,3	1517,1	1477,5	1385,2	1266,5	1121,3
v (km/h)	26,3	39,4	52,6	65,7	78,9	92,0	105,2	118,3	131,5	144,6
5.R.S.										
Fh (N)	818,3	1022,9	1074,1	1227,5	1186,6	1176,3	1145,7	1074,1	982,0	869,5
v (km/h)	33,9	50,9	67,8	84,8	101,7	118,7	135,6	152,6	169,5	186,5

- Celkový jízdní odpor byl vypočten sečtením jednotlivých jízdních odporů, a to při jednotlivých rychlostech a pro jednotlivá stoupání.

Tab. 2.3 Celkový jízdní odpor [N] pro jednotlivé rychlosti a stoupání

rychlost [km/h]	O_c [N] stoupání 0%	O_c [N] stoupání 5%	O_c [N] stoupání 10%	O_c [N] stoupání 20%	O_c [N] stoupání 30%	O_c [N] stoupání 40%	O_c [N] stoupání 50%
20	185,2	765,5	1341,0	2461,6	3518,2	4490,1	5365,6
40	217,7	798,0	1373,5	2494,1	3550,7	4522,5	5398,0
60	271,7	852,0	1427,6	2548,2	3604,8	4576,6	5452,1
80	347,5	927,8	1503,3	2623,9	3680,5	4652,4	5527,9
100	444,9	1025,2	1600,7	2721,3	3777,9	4749,7	5625,2
120	563,9	1144,2	1719,7	2840,3	3896,9	4868,8	5744,3
140	704,5	1284,8	1860,4	2981,0	4037,5	5009,4	5884,9
160	866,8	1447,1	2022,7	3143,3	4199,8	5171,7	6047,2
180	1050,7	1631,0	2206,6	3327,2	4383,8	5355,6	6231,1
200	1256,3	1836,6	2412,2	3532,8	4589,3	5561,2	6436,7

- Na základě takto vypočtených hodnot je zkonstruován trakční diagram pro konkrétní vozidlo viz. **Obr.2.3**



Obr. 2.3 Trakční diagram osobního vozidla škoda Fabia kombi 1,4 MPi [příloha 6]

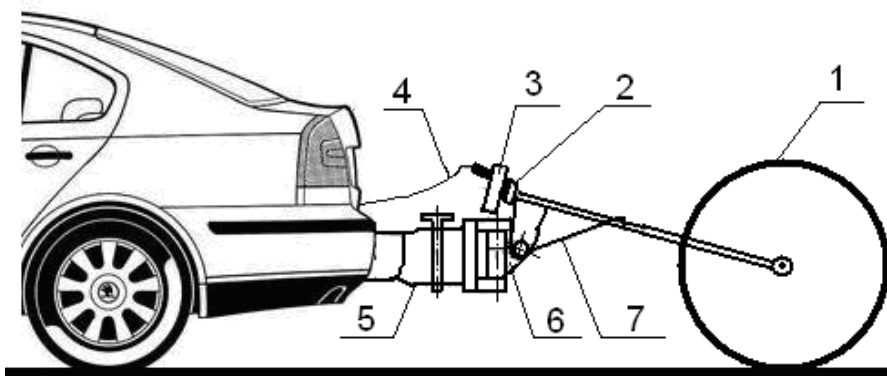
Do trakčního diagramu jsou vyneseny červeně křivky hnacích sil jednotlivých rychlostních stupňů. Jedná se o hodnoty z **Tab. 2.2** (závislost hnací síly na rychlosti jízdy). Křivky jízdního odporu v závislosti na rychlosti jsou do diagramu vyneseny černě, a to pro jednotlivá stoupání.

Z trakčního diagramu lze vyčíst např. maximální rychlost, která je (**Obr.2.3**) 170 km/h při stoupání 0 %. Dále lze vyčíst jaký je zapotřebí mít zařazený rychlostní stupeň pro jednotlivá stoupání, jaká je maximální rychlost pro daný rychlostní stupeň a jakého stoupání lze dosáhnout.

3 Způsoby měření a záznamu pohybu vozidla

Pohyb vozidla charakterizuje jeho rychlost, neboli změnu polohy vozidla v čase. Z této definice vyplývá i její jednotka, základní m/s nebo s vozidly častěji spojována km/h. V další části textu je uvedeno několik možností jak pohyb vozidla měřit a zaznamenávat.

3.1 Měření rychlosti pomocí vlečného (pátého) kola



Obr. 3.1 Vlečné kolo, pozice: 1 – kolo, 2 – ohebný hřídel, 3 – snímač impulzů, 4 – elektrický kabel, 5 – upevnění k vozidlu, 6 – kardanový závěs, 7 – přítlačná pružina
Pozn.: vlastní úprava podle [2]

Princip funkce spočívá v připevnění pátého kola za měřené vozidlo pomocí upevnění (5). Kolo je k vozovce přitlačováno přítlačnou pružinou (7). Při pohybu vozidla se otáčí i vlečné kolo (1). Přes hřídel (2) jsou přenášeny otáčky kola do snímače impulzů (3) a pomocí elektrického kabelu je frekvence otáčení kola přenášena do vyhodnocovacího zařízení, které je umístěno ve vozidle. Jako vlečné kolo je obvykle použito lehké upravené jízdní kolo. U takového kola se dynamický poloměr s rychlostí takřka nemění. To zjednodušuje výpočet rychlosti jízdy, který je určen ze vztahu:

$$v = 2\pi \cdot r_d \cdot n \quad (3.1)$$

Podle vztahu (3.1) pro výpočet rychlosti jízdy vozidla, je tedy jediným proměnlivým parametrem n - otáčky kola. Jednotlivé druhy se od tohoto zařízení liší podle použitého snímače impulzů (Obr.3.1 pozice 3). Podle tohoto dělení se rozlišují následující typy snímačů:

Tachometrické dynamo a generátor

Principem funkce tachometrického dynama je následující, rotující měřená část pevně spojena s kotvou dynama. Kotva dynama je umístěna v poli permanentního magnetu, při otáčení se v rotoru indukuje stejnosměrné elektromagnetické napětí, které je lineárně závislé na otáčkách. U tachometrického generátoru je měřená část spojena pevně s rotorem, který je tvořen permanentním magnetem. Při otáčení rotoru indukuje magnetický tok magnetu do statorového vinutí elektromagnetické napětí. Toto napětí je úměrné otáčkám magnetu.

Impulzní otáčkoměry

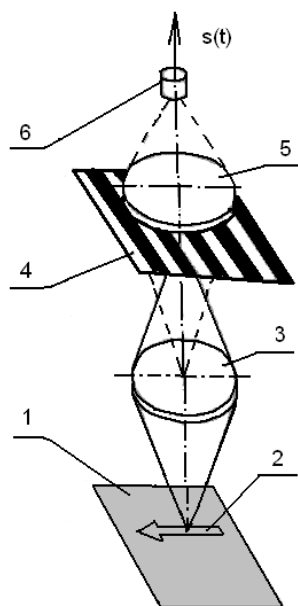
Principem funkce je počítání impulzů, které se vytváří ve snímači (např. indukční cívka) za časový interval. Jako generátor impulzů je použit ozubený kotouč, na který je přenášén otáčivý pohyb kola. Tento kotouč indukuje impulzy v indukčním obvodu.

Indukční snímač otáček

Funkce spočívá ve změně magnetického pole, které je způsobeno střídáním mezer a zubů otáčejícího se ozubeného kola, kde se ve vinutí indukuje střídavé napětí a jeho frekvence je úměrná otáčkám kola.

3.2 Měření rychlosti metodou optické korelace

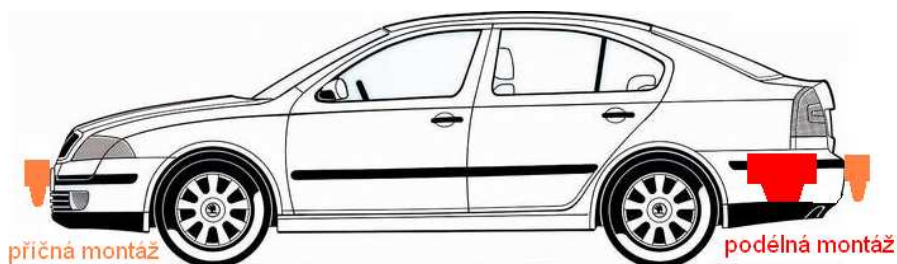
Princip funkce metody optické korelace (**Obr.3.2**) je následující: obraz pohybující se vozovky je promítán na mřížku (4). Světelné paprsky projdou mřížkou a čočkou (5) jsou soustředěny na fotonku (6). Elektrický signál $s(t)$ je modulován kmity s frekvencí f . Tato frekvence je přímo úměrná rychlosti pohybu vozovky. Protože metoda vyhodnocuje informace z optického obrazu, je zapotřebí vhodného osvětlení. Z důvodu nezávislosti na denním světle jsou snímače vybaveny vlastním osvětlením.



Obr. 3.2 Optický snímač rychlosti, pozice: 1 – vozovka, 2 – směr pohybu, 3,5 – čočka, 4 – mřížka, 6 – fotonka, $s(t)$ – nízkofrekvenční signál [3]

Firma Corrsys-datron vyrábí mimo jiné optické měřicí přístroje: Correvit–L – podélný snímač (např. modely Correvit L-CE, Correvit–L 200) a Correvit – S příčný snímač (např. modely Correvit S-CE, Correvit S 400).

Na následujícím **Obr.3.3** je schematicky znázorněno uchycení Correvitu na vozidle. Podle pokynů výrobce, a tedy pro správnou funkci, je zapotřebí připevnit snímače Correvit ve správném směru (na snímači je směr naznačen) a ve správné výšce (cca 40 cm nad snímanou vozovku, tento údaj se může typ od typu lišit).



Obr. 3.3 Pozice uchycení měřicího zařízení Correvit na vozidle
Pozn.: vlastní úprava podle [18]

Correvit L-CE [18] – jedná se o zařízení, které umožňuje měřit více veličin najednou, zejména rychlost-podélnou příčnou, ujetou vzdálenost, smykový úhel. Použít ho lze na jakémkoliv typu vozidla, od osobních, nákladních vozidel přes autobusy až po závodní

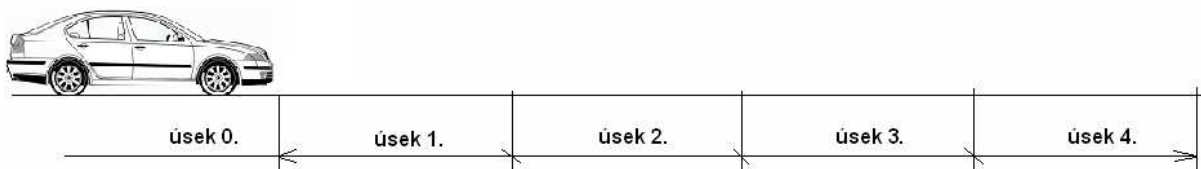
speciály. Jde o optický senzor, kterým lze měřit podélnou, ale i příčnou dynamiku vozidla. Lze jej použít od jednodušších měření zpomalování vozidla až po měření složitější jako je výhybný manévr. Lze jej použít na celou řadu povrchu (např. asfalt, beton, sníh, led, aj.). Měřicí zařízení a dodávané komponenty jsou znázorněny na **Obr.3.4**.



Obr. 3.4 Obsah balení Correvit L-CE, pozice: 1 – L-CE senzor, 2 - elektrický kabel, 3 -kabel pro přenos signálu, 4 – rozvaděč, 5 – CE_CAL komunikační kabel, 6 – CD se softwarem, 7 – Halogenová lampa 12 V, 20 W, 8 – montážní šrouby. [18]

3.3 Výpočet rychlosti pomocí známé délky úseku dráhy a měřený čas

Zkušební dráha je rozdělena na úseky (**Obr.3.5**) o známé délce. Při zkoušce vozidlo projíždí jednotlivými úseky zkušební dráhy. Přitom je měřen a zaznamenáván čas průjezdů těmito úseky. Následně lze dopočítat průměrnou rychlost vozidla v jednotlivých úsecích. Pro záznam času lze použít jednoduše stopky pro měření času. Kdy osoba přítomna měření a pověřena k zaznamenávání času spouští stopky vždy při vjezdu vozidla na začátek úseku a přepíná mezičas po vyjetí vozidla z tohoto úseku. Při dojezdové zkoušce až to té doby než se vozidlo zastaví. Ovšem toto měření není zcela přesné, protože do sebe zavádí určitou nepřesnost v podobě reakční doby pověřené osoby. Tuto nepřesnost lze odstranit použitím např. optických závor, principem funkce je neviditelný infračervený světelný paprsek, který tvoří jakousi světelnou závoru. Infračervený paprsek je vyzařován z jednoho místa systému do druhého. Při přerušení paprsku (v případě, že vozidlo vjede mezi tyto dvě místa) dojde k sepnutí obvodu a vysláním signálu, který ovládá stopky.



Obr. 3.5 Schéma úseků dráhy při měření Pozn.: vlastní úprava podle [14]

3.4 Vyznačení úseků dráhy pomocí značkovacího zařízení

K výpočtu průměrné rychlosti za známý časový interval je zapotřebí znát vzdálenost, kterou vozidlo během tohoto časového intervalu urazí. K určení této vzdálenosti je vhodné použít pyrotechnickou patronu připevněnou vně vozidla, která je odpálena na začátku a na konci časového intervalu. Patrona při odpalu zanechá na vozovce stopy. Výsledkem jsou značky na vozovce, které jsou od sebe vzdáleny délkou, která odpovídá předem definovaným časovým intervalům. Po následném změření těchto úseků pomocí pásma a vydělením těchto vzdáleností definovaným časovým intervalem, dostaneme průměrnou rychlost vozidla v daném úseku.

3.5 Měření rychlosti pomocí GPS přijímače

GPS (Global Positioning System) – jedná se o polohový družicový systém, s jehož pomocí lze určit polohu kdekoliv na Zemi. Princip funkce určení polohy je následující: přijímač vypočte vzdálenost, která je mezi ním a okolními družicemi, a to z doby cesty signálu. Zná-li přijímač vzdálenost k družici A, předpokládá, že sám leží na plášti koule o poloměru rovnému této vzdálenosti (**Obr.3.6**). Zná-li přijímač i vzdálenost k družici 2, tak dopočítá průnik povrchů koule – to je kružnice. Třetí družicí se možnost polohy přijímače zmenší jen na 2 body (**Obr.3.6**). Jeden z těchto bodů, ale leží mimo povrch Země. Z toho plyne, že poloha přijímače je v tom druhém bodě.



Obr. 3.6 Princip trilaterace [19]

GPS přijímač ze známé změny polohy v čase dopočítává aktuální rychlost pohybujícího se přijímače. Pokud se tento přijímač pohybuje společně s vozidlem, tak se údaje o rychlosti pohybu GPS přijímače shodují s rychlostí vozidla. Přijímač údaje o rychlosti a poloze zaznamenává a ukládá v určitých časových intervalech.

3.6 Pomocí měřicího přístroje XL-Meteru



Obr. 3.7 XL Meter a jeho uchycení při měření na čelním skle vozidla [22]

XL Meter je univerzální přístroj na měření zpomalení - zrychlení ve dvou osách. Tento přístroj je vyráběn firmou Inventure, Inc. [22] v Maďarsku. S přístrojem je možno jednoduše

a rychle manipulovat. Na použití stačí čtyři tužkové baterie (typ AA). Na displeji se zobrazují základní informace o měření:

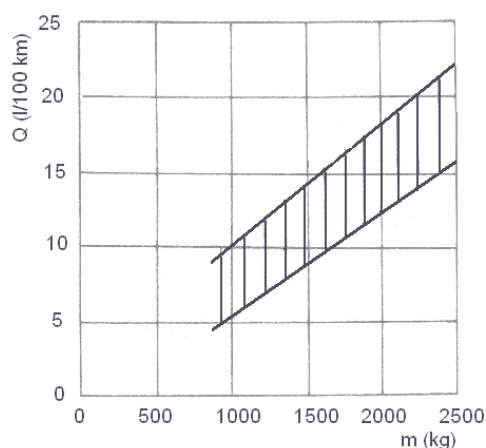
vzdálenost [m] – jedná se o dráhu, kterou vozidlo během zpomalování urazilo, výchozí rychlost [km/h] – jedná se o rychlost, kterou mělo vozidlo na začátku měření, doba zpomalování [s] – jedná se o čas, který vozidlo zpomalovalo, MFDD [m/s²] – střední hodnota plného brzdného zpomalení. Tyto údaje je možno pomocí datového kabelu a softwaru nahrát do počítače, kde je možno je vykreslit i graficky. Samotné měření není nějak složité. Na čelní sklo vozidla se připevní XL Meter, který se zapne a zkalibruje ve dvou osách (x,y). Poté může začít samotné měření. Přístroj se zapne pomocí tlačítka start na přístroji. Vozidlo se rozjede na požadovanou výchozí rychlost. Na konci měřeného úseku se pomocí tlačítka stop zastaví měření. Takto lze provést až osm měření, které je možno zaznamenat v samotném přístroji. Poté je zapotřebí stáhnout data do počítače, aby mohlo být provedeno další měření.

4 Ekonomika provozu vozidla

Důležitým ukazatelem ekonomičnosti provozu vozidla je jeho spotřeba paliva. Spotřeba paliva závisí na hospodárnosti motoru a na práci vozidla při překonávání jízdních odporů. Spotřeba paliva se běžně uvádí v litrech/100 km, případně v jednotkách mpg (míle na galon). V následující části jsou posouzeny jednotlivé faktory, které mají vliv na spotřebu paliva.

VLIV HMOTNOSTI

Z **Obr.4.1** je patrné, že se zvyšující hmotností roste i spotřeba paliva. Je to dáno zvětšující se potřebnou hnací silou od motoru vozidla k překonání zvětšujících jízdních odporů (vlivem vzrůstající hmotnosti). Snahou výrobců je hmotnosti vozidel optimalizovat. Snížení hmotnosti výrobci dosahují použitím vhodné koncepce, použitím lehkých slitin a plastů (např. plastové nárazníky, díly karoserie, atd.). Pohotovostní hmotnost vozidla lze zvýšit hmotnostní nákladem, případně cestujícími. Z empirických vztahů [5] bylo zjištěno, že každých 100 kg hmotnosti zvýší spotřebu v průměru 0,7 litrů na 100 km jízdy.



Obr. 4.1 Závislost spotřeby paliva u osobních vozidel na hmotnosti vozidla [6]

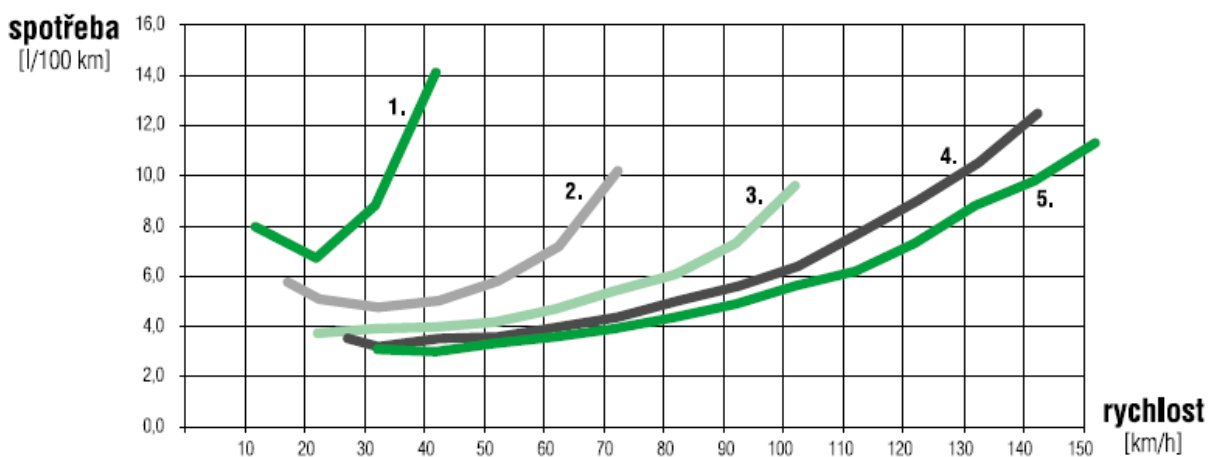
VLIV PNEUMATIK

Pneumatiky mají významnou podíl na ekonomičnosti provozu. Jejich parametry (konstrukce, typ, provedení) jsou dány výrobcem. Ovšem při provozu vozidla hraje významnou roli

huštění pneumatik. To má nejen vliv na jízdní komfort, bezpečnost, životnost pneumatik, ale také na spotřebu paliva. Dle [23] pokles tlaku v pneumatikách o 0,1 barů (10 kPa) pod hodnoty udávané výrobcem zvýší spotřebu až o 5 %. Proto je zapotřebí tlak v pneumatikách pravidelně kontrolovat a hustit pneumatiky na tlak předepsaný výrobcem.

VLIV PŘEVODOVÉHO ÚSTROJÍ

Vozidlo je schopno jet určitou rychlostí, a to na různé rychlostní stupně (s ohledem na převodový poměr jednotlivého rychlostního stupně) bude pokaždé motor točit jiné otáčky. Platí, že čím vyšší rychlostní stupeň pro danou rychlost bude zařazený, tím nižší otáčky motoru budou. Spotřeba se bude pokaždé lišit. Motor je schopen pracovat hospodárně při určitém zatížení a ve středním rozmezí otáček. Proto zvětšení počtu rychlostních stupňů zvyšuje hospodárnost provozu.

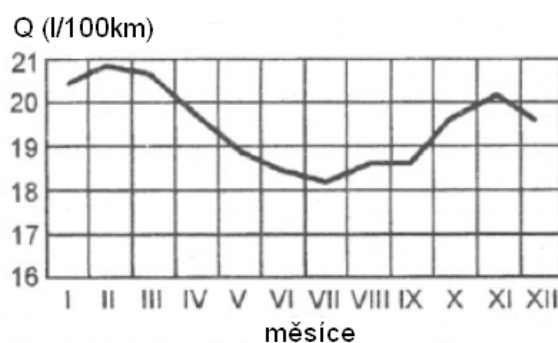


Obr. 4.2 Grafická závislost spotřeby paliva na rychlostním stupni a rychlosti jízdy - ŠKODA FABIA 1.2 HTP [23]

Na **Obr.4.2** je znázorněna závislost spotřeby paliva na rychlostním stupni a rychlosti jízdy pro Škodu Fabii. Z grafu je patrné, že pro nižší spotřebu paliva je zapotřebí optimálně řadit rychlostní stupně. Například při ustálené rychlosti 90 km/h je spotřeba na 3. r.s. – 7 l/100 km, na 4. r.s – 5,3 l/100 km a na 5.r.s jen 4,9 l/100 km. Z toho vyplývá, že spotřebu paliva ovlivňuje i technika jízdy.

VLIV VNĚJŠÍHO PROSTŘEDÍ

Vliv ročního období na spotřebu paliva je na **Obr.4.3**. Znárodnuje průměr spotřeby paliva na vozový park v České republice. Z grafu je zřejmé, že nejnižší spotřeba pohonných hmot je VI (červen), VII(červenec), oproti tomu naopak nejvyšší je v zimních měsících. Je to dáno jednak venkovní teplota, která ovlivňuje teplotu motoru, viskozitu oleje, a tím i prodlužuje dobu zahřátí motoru na provozní teplotu (motor má nejnižší spotřebu jeli při této teplotě provozován). Ale také charakterem jízdy, kde v zimních obdobích dochází častějším smykům, k prokluzování vozových kol na kluzkých vozovkách. Nebo také dochází při jízdě po sněhu ke zvyšování valivého odporu oproti jízdě na suché vozovce (viz. Tab. 1.1, ze které vyplývá, že hodnota valivého odporu je na zasněženém povrchu téměř 17 krát vyšší než na povrchu asfaltovém.).

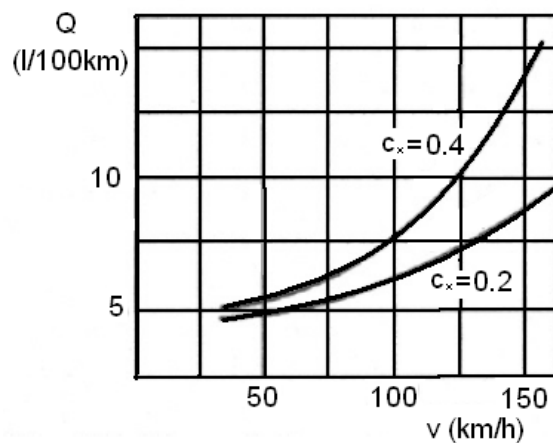


Obr. 4.3 Vliv ročního období na spotřebu paliva [5]

VLIV SOUČINITELE ODPORU VZDUCHU

Odpor vzduchu ovlivňuje spotřebu paliva zejména rychlostí jízdy, protože odpor roste s rychlostí kvadraticky. Podle [23] vozidlo při rychlosti 75 km/h spotřebuje až polovinu energie z paliva na překonání odporu vzduchu. Ze vztahu pro výpočet vzdušného odporu je patrné, že pro snížení odporu vzduchu, za stejných podmínek provozu, tzn. stejná rychlost, stejné povětrnostní podmínky (hustota vzduchu, rychlost a směr větru) lze snížit tento odpor, a tedy i spotřebu paliva snížením čelní plochy nebo součinitele vzdušného odporu c_x . Čelní plocha je do jisté míry dána zaměřením koncepce vozidla. Vliv součinitele vzdušného odporu je na **Obr.4.4**. Z obrázku je patrné, že čím nižší je, tím je i nižší spotřeba. Proto by mělo být snahou tento součinitel snižovat. V článku [15] je uvedeno jaké nepatrné změny při optimalizaci aerodynamiky vozidla mají za následek snížení c_x . Například: u vozu Opel Insignia se základní hodnota $c_x = 0,27$ podařila snížit c_x o jednu desetinu několika

úpravami³: zakrytí nádrže ze spodu ubralo 0,009, částečné zaslepení mřížky na masce ubralo 0,005, zaslepení štěrbin pod chladičem ubralo 0,001, úprava spoileru ubrala 0,003 a další. Při zkoumání v aerodynamickém tunelu navíc inženýři zjistili, že boční nápis na pneumatikách zvyšoval součinitel o 0,001.



Obr. 4.4 Vliv součinitele vzdušného odporu na spotřebu paliva [5]

³Zdroj: <http://cs.autolexicon.net/articles/aerodynamika>

5 Realizované měření na vybraném vzorku vozidel

5.1 Plán měření

Před realizací samotného měření je zapotřebí zaměřit např. pomocí totální měřicí stanice zkušební dráha. Z naměřených hodnot jsou zjištěny geometrické hodnoty zkušební dráhy, zejména pak hodnota podélného sklonu. Při plánování samotného měření je brán ohled na normu ČSN 30 0554 (Dojezdová zkouška silničních motorových vozidel). Norma platí pro zjišťování závislosti jízdního odporu vozidla na rychlosti jízdy u osobních automobilů, nákladních automobilů, autobusů a vozidel s návěsem i přívěsem. Neplatí pro jednostopá vozidla, pojízdné pracovní a zemědělské stroje a traktory.

Jednou z částí experimentální zkoušky bude na vybraném vzorku vozidel provést dojezdovou zkoušku. Jedná se o silniční zkoušku, při které se vozidlo na zkušební dráze rozjede na požadovanou rychlost. Následně se přeruší pohon mezi motorem a hnací nápravou (zařazením na neutrální převodový stupeň – v tomto okamžiku motor pracuje na volnoběžné otáčky). Vozidlo jede po zkušební dráze a vlivem působení jízdních odporů zpomaluje. Během této jízdy se zaznamenává pomocí GPS přijímače poloha vozidla v sekundových časových intervalech. Výsledkem z dojezdové zkoušky je tzv. dojezdová charakteristika. Jedná se o diagram, který popisuje závislost měřeného jízdního odporu na rychlosti jízdy vozidla.

Další část samotného měření je obdobná jako část první, tzn. jedná se uvedení vozidla do pohybu na požadovanou rychlost, s tím rozdílem že se nechá zařazený převodový stupeň a zároveň řidič přestane působit na akcelerační pedál. Vozidlo začne opět zpomalovat, ovšem oproti první části měření navíc působí i brzdny moment motoru. Pomocí XL-meteru se bude zaznamenávat zpomalení vozidla.

Poslední část samotného měření proběhne také se zařazeným převodový stupněm, ale s vypnutým zapalováním.

Takto naplánovaná zkouška byla provedena na vybrané vzorku vozidel, jedná se o vozy značky ŠKODA a VOLKSWAGEN. jednotlivé modely a jejich technická data jsou uvedeny v příloze č.1.

Technické požadavky na dojezdovou zkoušku (dle ČSN 30 0554)

Technické požadavky na vozidlo:

- Vozidlo musí odpovídat technickým podkladům
- Geometrie kol musí odpovídat údajům výrobce
- Brzdy musí být seřizeny podle údajů výrobce, zejména pak samovolné brzdění
- Vozidlo musí být čisté a před zkouškou dostatečně zahřáto
- Pneumatiky vozidla musí odpovídat údajům, které předepisuje výrobce, musí mít najeto minimálně 1000 km a jejich vzorek musí mít minimálně 2/3 výšky vzorku pneumatiky nové. Huštění musí odpovídat údajům výrobce s přesností:

± 5 kPa (pro tlaky do 200 kPa)

± 10 kPa (pro tlaky nad 200 kPa)

Technické požadavky na zkušební dráhu:

- Povrch musí být suchá cementová nebo živičná vozovka
- Začátek i konec měřícího úseku je třeba řádně označit
- Měřící úsek musí být přímý, pokud možno rovný a s kvalitním povrchem
- Na měřícím úseku musí být provedena nivelace, která nesmí být starší než 5 let

Atmosférické podmínky:

- Teplota vzduchu 5 až 25 °C
- Tlak vzduchu 97,33 až 101,25 kPa
- Síla větru nejvýše 1,5 m/s

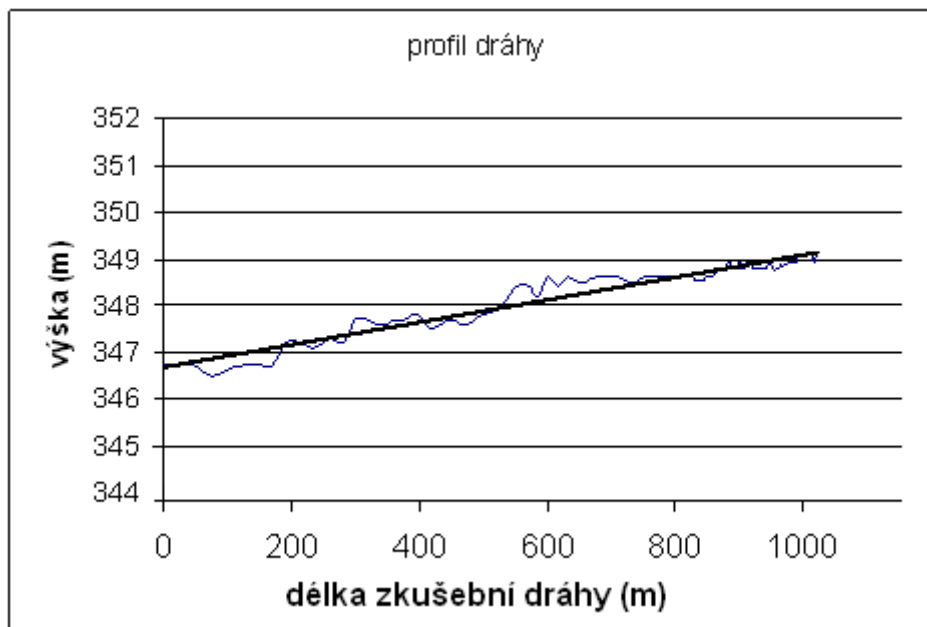
5.2 Průběh měření

Před samotným měřením bylo zapotřebí vybrat vhodnou plochu pro realizaci měření. Plocha byla vybírána s ohledem na požadavky na zkušební dráhu (délka, povrch, sklon). Byla vybrána plocha letiště v Boršicích, kde se uskutečnilo měření s vozy Škoda Octavia. Zkušební úsek byl dlouhý 500 m s podélným sklonem 3 metry (změřeno totální zaměřovací stanicí). S ohledem na nájezdovou dráhu a podélný sklon byla maximální možná výchozí rychlost vozidla na začátku měřeného úseku necelých 30 km/h . Pro zvolenou metodu vyhodnocení naměřených hodnot a následné porovnání výsledků byla tato rychlost nevyhovující, jelikož hodnota spolehlivosti rovnice regrese byla příliš nízká. Proto bylo zapotřebí vyhledat jinou vhodná plocha s delší zkušební dráhou. Bylo osloveno vedení vojenského letiště v Náměšti nad oslavou s žádostí o realizaci měření. Měření by bylo možné realizovat na dráze dlouhé 2 000 metrů, ovšem personál letiště upozornil na příliš velký podélný sklon, který činil na této dráze 22 metrů (takovýto sklon nepovoluje norma ČSN 30 0554 o dojezdové zkoušce). Dalším možným místem pro realizaci měření bylo letiště v Kunovicích, které vyhovovalo délkou (1 980 m) i podélným sklonem 5 metrů (dle údajů majitele). Ovšem pronájem letiště byl finančně příliš nákladný. Nakonec byla pro realizaci vybrána částečně uzavřená silnice číslo 43 za obcí Borová (**Obr. 5.1**). Dráha má asfaltový povrch, je orientovaná severozápadním směrem a má dostatečně rovný a dlouhý úsek (1 100 metrů), který umožnil nájezdovou rychlost až 70 km/h.



Obr. 5.1 Letecký snímek místa měření [24]

V první den měření byla po příjezdu na místo zaměřena zkušební dráha pomocí GPS výškoměru. Zaznamenané hodnoty byly vloženy do tabulkového editoru Microsoft Office Excel 2003. Na **Obr.5.2** je vykreslen graf závislosti délky dráhy na výškovém profilu zkušební dráhy.



Obr. 5.2 Výškový profil zkušební dráhy

Z grafického vyjádření na **obr.5.2** je patrné, že výškový rozdíl zkušební dráhy na délce 1 000 metrů činí cca 2,5 metru.

První část samotného měření probíhala následovně: pomocí kuželů byl vyznačen začátek zkušební dráhy. Před vlastní zkušební jízdou bylo každé vozidlo zváženo a byly zapsány údaje o vozidle. Jednalo se jednak o údaje z technického průkazu (SPZ, rok výroby), ale i o údaje zjištěné přímo na vozidle (stav tachometru, tlak v pneumatikách, hloubka dezénu).

Jako první byla měřena tzv. dojezdová zkouška. Záznam měření se realizoval pomocí GPS přijímače umístěného ve vozidle. Na GPS přijímači se zapnul záznam ujeté trasy. Vozidlo se rozjelo na požadovanou rychlost 70 km/h (při průjezdu začátkem měřeného úseku). Na začátek zkušební dráhy se přerušil pohon mezi motorem a hnací nápravou (zařazením na neutrální převodový stupeň). Poté se vozidlo pohybovalo po zkušební dráze a vlivem celkového jízdního odporu, který na vozidlo působil, zpomalovalo a to až do samého

zastavení. Po úplném zastavení vozidla byl vypnut záznam GPS. Toto měření se pak opakovalo pro každé z měřených vozidel několikrát.

Při každém měření byly zaznamenávány hodnoty atmosférického tlaku a teploty vzduchu (pomocí meteostanice TFA **Obr.5.3**)

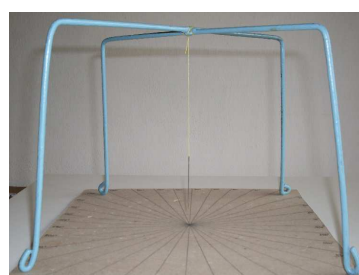


Obr. 5.3 Meteostanice TFA

Dále byl zaznamenáván směr a rychlost větru (pomocí anemometru a pomůcky na určení směru větru (**Obr.5.4**)).



Obr. 5.4 a, Anemometr AM-4202



b, pomůcka na určení směru větru

Další část samotného měření (zpomalování vozidla se zařazeným převodovým stupněm) proběhla následovně: Na čelní sklo vozidla byl připevněn XL-meter, který byl následně zapnut a zkalibrován ve dvou osách (podélná a příčná s osou vozidla). Vozidlo najelo do dostatečné vzdálenosti před začátek měřeného úseku, aby při průjezdu začátkem

měřeného úseku mělo požadovanou rychlost. Byl zapnut záznam měření na XI-meteru. Po zapnutí měření se vozidlo rozjelo na první převodový stupeň na určitou rychlost, poté řidič přestal nohu působit na akcelerační pedál a nechal vozidlo zpomalovat do doby, než otáčky motoru klesly k otáčkám volnoběžným. Poté řidič vyšlápl spojkový podál a zastavil vozidlo. Po úplném zastavení vozidla byl vypnut záznam měření na XI-meteru. Toto měření se opakovalo pro první až pátý rychlostní stupeň. Po končení všech pěti měření (1.,2.,3.,4. a 5. rychlostní stupeň) na jednom vozidle byla z důvodů kapacity paměti XL-meteru naměřená data stáhnuta do notebooku. XI-meter byl propojen s notebookem pomocí USB kabelu a data byla uložena pomocí programu XL vision. Tento postup se opakoval pro každé z měřených vozidel.

Všechna měření se z časových, povětrnostních a dispozičních důvodů realizovala v pěti dnech. Vozidla, se kterými se měření realizovalo, jsou uvedeny v následující **tabulce 5.1.**

Tab. 5.1 Měřená vozidla

vozidlo	značka	typ
1.	Škoda	Felicia 1,3i
2.	Škoda	Felicia 1,9D
3.	Škoda	Fabia 1,4 MPi
4.	Škoda	Fabia 2,0 MPi
5.	Škoda	Fabia 1,9 TDi
6.	Volkswagen	Golf IV 1,6
7.	Volkswagen	Golf IV 1,9 TDi

Na vozidle Škoda Felicia 1.3i oproti ostatním vozidlům bylo realizováno zpomalování vozidla se zařazeným převodovým stupněm a vypnutým zapalováním. Toto měření proběhlo obdobným způsobem jako měření zpomalování vozidla se zařazeným rychlostním stupněm se zapnutým zapalováním, s tím rozdílem, že po sundání nohy řidiče z akceleračního pedálu bylo vypnuto i zapalování vozidla.

V následující **tabulce 5.2.** jsou uvedeny přístroje a pomůcky, která byly realizaci měření použity.

Tab. 5.2 Použité měřicí přístroje a pomůcky

Měřicí přístroje a pomůcky			
Název	Typ	Výrobce	Identifikační číslo
Univerzální měřidlo pro zpomalování	XL-meter	Inventure, Inc	SAP 001000086910
Kolečko měřičské	Nestle	IVO Germany	SAP 001000086437
GPS přijímač HCX	HCX	Garmin	16C178611
Meteostanice	V11N	TFA Germany	351033
Anemometr	AM 4202	Lutron	1266336
Notebook	X51R	ASUS	75NOAS174838
Tlakoměr	Analogový	Kennedy	
Kužely, pomůcka na určování směru větru, barva ve spreji			

5.3 Naměřené hodnoty a jejich hodnocení

5.3.1 Hodnocení dojezdové zkoušky

Naměřená data z dojezdových zkoušek byla z GPS pomocí USB kabelu stažena do PC. Naměřené hodnoty byly uloženy ve formátu *.gpx. Pro další práci z naměřenými hodnotami bylo zapotřebí tento formát převést na *.txt. Pro převod byla použita webová stránka: www.gpsvisualizer.com/convert_input. Textové soubory byly zkopírovány do tabulkového editoru Microsoft Office Excel 2003. V následující tabulce 5.3 jsou uvedena data pro vyhodnocení jedné jízdy dojezdové zkoušky pro vůz Škoda Felicia 1.3.

Tab. 5.3 Záznam měření z dojezdové zkoušky Škoda Felicia 1.3, první jízda

latitude	longitude	v (m/s)	čas (s)	V_u (m/s)	V_u² (m/s)	a (m/s²)	a_s (m/s²)
495810406	165505818						
495811885	165504423	19,441	0	19,272	371,413	0,318	0,293
495813351	165503047	19,188	1	18,956	359,332	0,314	0,289
495814805	165501751	18,679	2	18,643	347,570	0,311	0,286
495816260	165500459	18,674	3	18,334	336,119	0,308	0,283
495817698	165499229	18,289	4	18,027	324,973	0,305	0,280
495819092	165498028	17,760	5	17,724	314,126	0,302	0,277
495820457	165496890	17,259	6	17,423	303,570	0,299	0,274
495821811	165495728	17,234	7	17,126	293,298	0,296	0,271
495823141	165494587	16,928	8	16,832	283,305	0,293	0,268

495824442	165493478	16,533	9	16,540	273,584	0,290	0,265
495825715	165492390	16,188	10	16,252	264,129	0,287	0,262
495826973	165491313	16,003	11	15,967	254,934	0,284	0,259
495828190	165490278	15,458	12	15,684	245,992	0,281	0,256
495829413	165489216	15,611	13	15,405	237,299	0,278	0,253
495830620	165488224	15,212	14	15,128	228,848	0,275	0,250
495831796	165487245	14,864	15	14,854	220,633	0,273	0,248
495832946	165486284	14,547	16	14,583	212,649	0,270	0,245
495834034	165485369	13,784	17	14,314	204,892	0,267	0,242
495835137	165484483	13,833	18	14,048	197,354	0,264	0,239
495836199	165483582	13,481	19	13,785	190,033	0,262	0,237
495837244	165482692	13,278	20	13,525	182,921	0,259	0,234

495871180	165454247	0,806	86	0,712	0,506	0,151	0,126
495871234	165454212	0,658	87	0,561	0,315	0,150	0,125
495871294	165454191	0,685	88	0,411	0,169	0,150	0,125
495871364	165454160	0,806	89	0,262	0,068	0,149	0,124
495871413	165454124	0,601	90	0,113	0,013	0,149	0,124
495871445	165454092	0,435	91	-0,036	0,001	0,148	0,123
495871471	165454073	0,329	92	-0,184	0,034	0,148	0,123
495871492	165454055	0,269	93	-0,331	0,110	0,147	0,122
495871502	165454045	0,134	94	-0,478	0,228	0,147	0,122
		0,000	94	-0,478	0,228	0,147	0,122

Popis a vysvětlení tabulky 5.3:

První a druhý sloupec

Jedná se o zeměpisné souřadnice latitude (zeměpisná šířka) a longitude (zeměpisná délka). Tyto hodnoty jsou stažené z GPS přístroje s frekvencí záznamu 1 sekunda.

Třetí sloupec v (m/s)

Jedná se o hodnoty rychlosti z hodnoty 70 km/h (19,441 m/s) do 0 km/h. Tato rychlost byla vypočtena vynásobením dráhy (změna polohy zeměpisných souřadnic v čase) a časového intervalu. Výpočet změny polohy zeměpisných souřadnic byl vypočten pomocí vzorce, který pro účely této práce poskytl Ing. Albert Bradáč, Ph. D.

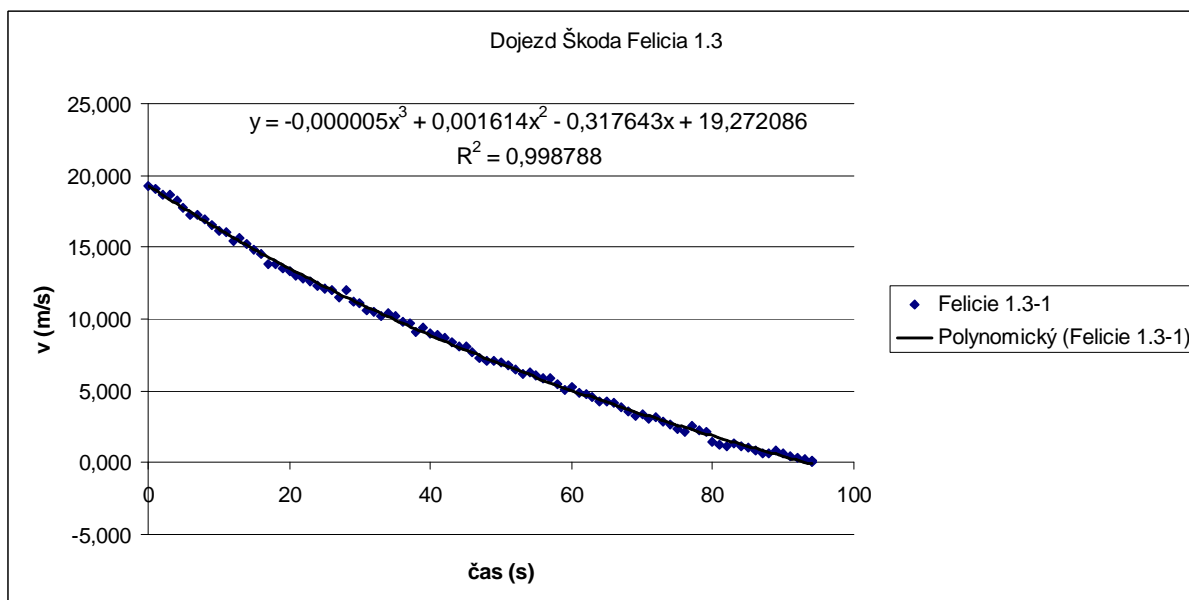
Čtvrtý sloupec čas (s)

Jedná se o času v sekundách, která začíná běžet při průjezdu vozidla začátkem měřeného úseku.

Pátý sloupec V_u (m/s)

Jedná se o hodnoty upravené rychlosti aproximací. Aproximace proběhla následujícím způsobem:

Graficky byla vykreslena závislost rychlosti na čase (**Obr 5.5**). Následně byl vzniklou křivkou proložen polynom třetího stupně a byla vypsána rovnice regrese. Z rovnice regrese byla následně dopočítána rychlost V_u (m/s), která má již plynulý průběh v závislosti na čase.



Obr. 5.5 Závislost rychlosti na čase Škoda Felicia 1.3

Šestý sloupec V_u^2 (m/s)

Upravená rychlost V_u s druhou mocninou (pro následné vyjádření v závislosti na zpomalení vozidla).

Sedmý sloupec a (m/s²)

Jedná se o vypočtené hodnoty zpomalení, které odpovídají změně rychlosti v časovém intervalu. Výpočet byl proveden derivací rovnice regrese rychlosti podle času.

Obecně pak platí vztah:

$$\frac{dv}{dt} = a = 3 \cdot k_3 \cdot t^2 + 2 \cdot k_2 \cdot t + k_1 \quad (5.1)$$

Pro tento konkrétní případ by rovnice vypadala následovně:

$$a = -3 \cdot 0,000005 \cdot x^2 + 2 \cdot 0,001614 \cdot x - 0,317643 \quad (5.2)$$

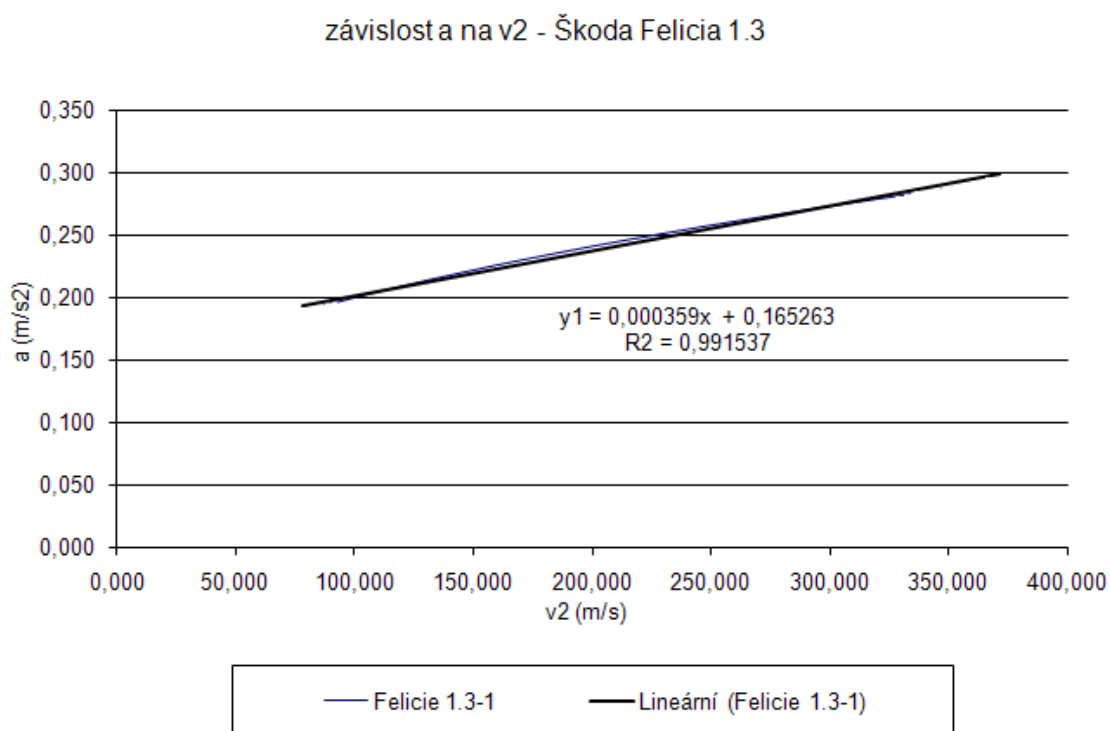
Osmý sloupec a_s (m/s^2)

Jedná se o hodnoty zpomalení ze sloupce sedm, ke kterým byla odečtena (pro jízdu shora dolů) a přičtena (pro jízdu zdola nahoru) část zrychlení, která odpovídá podélným sklonem vozovky. Velikost tohoto zrychlení lze určit vztahem:

$$a_{sklon} = \sin \alpha \cdot g \quad (5.3)$$

Z profilu dráhy $a_{sklon} = \sin \frac{2,5}{1000} \cdot 9,81 = 0,025 \text{ m} / \text{s}^2$.

Vypočtené hodnoty ze sloupce sedm byly graficky znázorněny v závislosti na V_u^2 (Obr.5.6).



Obr. 5.6 Závislost zrychlení na rychlosti v druhé mocnině ŠKODA FELICIA 1.3 (první jízda)

Poté byla přímka proložena rovnicí regrese, ze které byly vypočteny hodnoty součinitele aerodynamického a valivého odporu. A to následujícím způsobem:

Obecná tvar rovnice lineární regrese:

$$y = k_1 \cdot x + k_2 \quad (5.4)$$

Základní rovnice pro dojezdovou zkoušku má tvar:

$$m \cdot a \cdot \vartheta = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_x \cdot c_x \cdot v^2 + f \cdot m \cdot g \quad (5.5)$$

Po úpravě rovnice (5.5) dle tvaru rovnice (5.4) dostaneme vztah:

$$a = \frac{\rho \cdot S_x \cdot c_x \cdot v^2}{2 \cdot m \cdot \vartheta} + \frac{f \cdot g}{\vartheta} \quad (5.6)$$

Pro vyjádření součinitele odporu vzduchu z dojezdové zkoušky platí:

$$k_1 = \frac{\rho \cdot S_x \cdot c_x}{2 \cdot m \cdot \vartheta} \Rightarrow c_x = \frac{2 \cdot k_1 \cdot \vartheta \cdot m}{\rho \cdot S_x} \quad (5.7)$$

A pro vyjádření součinitele valivého odporu platí:

$$k_2 = \frac{f \cdot g}{\vartheta} \Rightarrow f = \frac{k_2 \cdot \vartheta}{g} \quad (5.8)$$

Pro výpočet vzorce 5.7 a 5.8 byly použity následující hodnoty:

pořadí	vozidlo	m (kg)	$S_x (m^2)$	$\rho (kg \cdot m^{-3})$
1.	Škoda Felicia 1.3 MPi	1060	1,92	1,24
2.	Škoda Felicia 1.9 D	1100	1,92	1,24
3.	Škoda Fabia 1.4 MPi	1180	2,00	1,25
4.	Škoda Fabia 2.0 MPi	1220	2,00	1,24
5.	Škoda Fabia 1.9 TDi	1350	2,00	1,24
6.	VW Golf IV 1.6 16v	1210	2,03	1,25
7.	VW Golf IV 1.9 TDi	1360	2,03	1,23

Okamžitá hmotnost vozidla m byla zjištěna zvážením vozidla v den měření. Hustota vzduchu byla vypočtena ze vztahu (1.15) z naměřených hodnot teploty a atmosférického tlaku v den a místě měření. Čelní plocha S_x byla zjištěna pomocí výpočtu plochy v AutoCadu z výkresů vozidel. Pro součinitel vlivu rotačních částí ϑ se při zařazeném rychlostním stupni do neutrální polohy udává hodnota 1,03 [6].

Tento postup byl proveden pro jednotlivá vozidla. A u každého vozidla tolikrát, kolikrát byla provedena dojezdová zkouška. V následujících tabulkách jsou uvedeny jednotlivé vypočtené hodnoty součinitele aerodynamického a valivého odporu. Pro jednotlivá vozidla byla každá dojezdová zkouška vyhodnocena jednotlivě. Pro určení konkrétní hodnoty součinitelů byl použit aritmetický průměr z jednotlivých jízd.

V příloze č.2 jsou znázorněny grafy, ze kterých jsou odečteny rovnice regrese. V **tabulce 5.1** jsou pro porovnání uvedeny součinitele odporu vzduchu udávaných výrobcí vozidel a hodnotami vyjádřených z dojezdové zkoušky.

Tab. 5.1 Porovnání C_x udávané výrobcí vozidel s vypočtenými hodnotami z dojezdové zkoušky

pořadí	vozidlo	c_x -výrobce	c_x - z dojezdové zkoušky	Rozdíl c_x (%)
1.	Škoda Felicia 1.3 MPi	0,35	0,334	-4,6
2.	Škoda Felicia 1.9 D	0,35	0,366	4,6
3.	Škoda Fabia 1.4 MPi	0,32	0,328	2,5
4.	Škoda Fabia 2.0 MPi	0,32	0,317	-0,9
5.	Škoda Fabia 1.9 TDi	0,31	0,289	-6,8
6.	VW Golf IV 1.6 16v	0,32	0,328	2,5
7.	VW Golf IV 1.9 TDi	0,31	0,299	-3,5

Jak je z **tabulky 5.1** patrné rozdíly hodnot c_x jsou v řádu jednotek procent. Je zapotřebí si uvědomit, že hodnoty c_x se u konkrétního typu vozidla liší ve výbavě, provedení, motorizaci, doplňcích vnějšku karoserie (střešní nosiče, ochranné lišty dveří, spoiler, křídlo, atd.) To znamená, že se skutečná hodnota c_x konkrétního vozidla může od katalogové hodnoty udávané výrobcem lišit. Proto je zapotřebí tyto katalogové hodnoty brát pouze jako orientační. Největší procentuální rozdíl je zaznamenán u vozidla Škoda Fabia 1.9 TDi. C_x vypočtené z dojezdové zkoušky je o 6,8 % nižší než hodnota, která byla udána v katalogu výrobce vozidla.

V následující tabulce 5.2 jsou uvedeny hodnoty součinitele valivého odporu zjištěného z dojezdové zkoušky.

Tab. 5.2 Vyjádřené hodnoty f pro jednotlivá vozidla z dojezdové zkoušky

pořadí	vozidlo	f
1.	Škoda Felicia 1.3 MPi	0,016
2.	Škoda Felicia 1.9 D	0,011
3.	Škoda Fabia 1.4 MPi	0,018
4.	Škoda Fabia 2.0 MPi	0,018
5.	Škoda Fabia 1.9 TDi	0,014
6.	VW Golf IV 1.6 16v	0,012
7.	VW Golf IV 1.9 TDi	0,014

Jak již bylo uvedeno, dojezdová zkouška se uskutečnila na vozovce s asfaltovým povrchem. V **tabulce 1.2** je uvedena hodnota f pro vozovku s asfaltovým povrchem v rozmezí 0,01 až 0,02. Z **tabulky 5.2** je patrné, že všechny vypočtené hodnoty f do tohoto rozmezí hodnot spadají. Jedná se o celkový součinitel valivého odporu (jak pneumatik vozidla, tak vozovky). Rozdílné hodnoty jsou zapříčiněny použitím rozdílných pneumatik u jednotlivých vozidel. Jedná se o jejich rozměr, hloubku dezénu, materiál a tlak v pneumatikách (hodnoty těchto parametrů pro jednotlivá vozidla jsou uvedeny v příloze č.1).

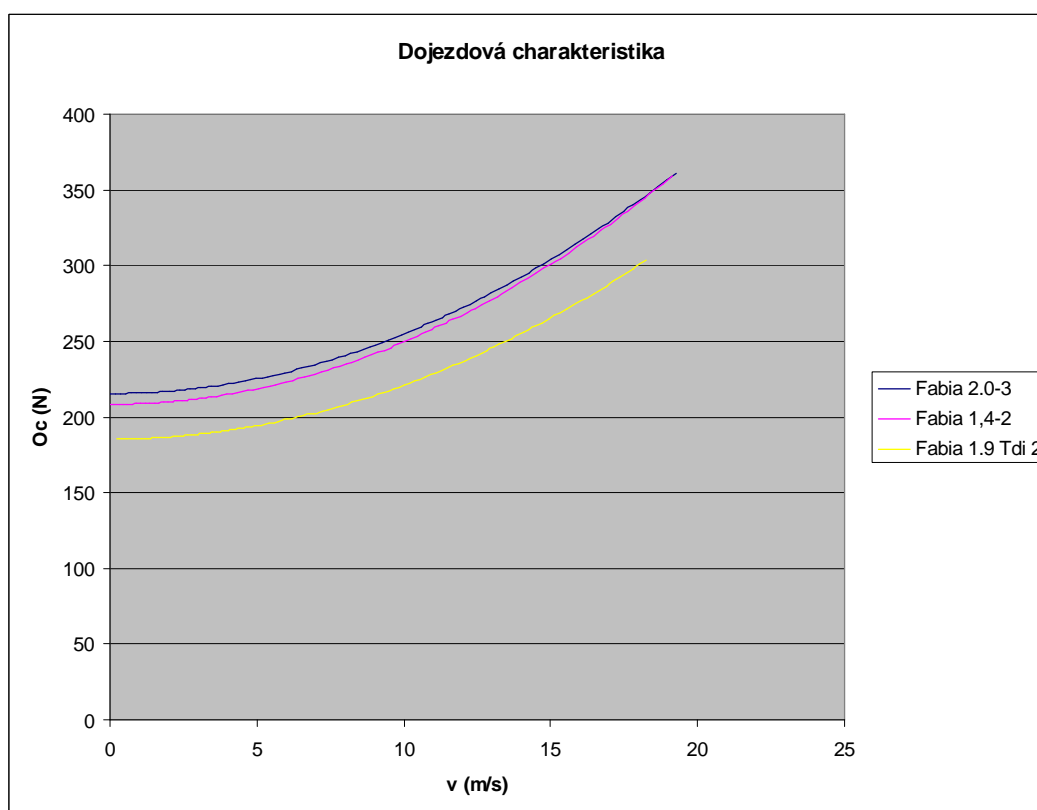
Porovnáme-li např. vozy Škoda Felicia, které mají stejný rozměr použitých pneumatik (165/70 R15) Barum Brillantis (Felicia 1.3) a Michelin Energy E3b (Felicia 1.9D), tlak v pneumatikách 2,5 x 100 kPa (Felicia 1.9D) a 2,0 1x 100 kPa [přední], 2,1x 100 kPa [zadní] (Felicia 1.3) zjistíme, že příčinou rozdílné hodnoty f mezi vozidly je tlak v pneumatikách. Nižší tlak v pneumatikách Felicie 1.3 zapříčiní (zatížení pneumatiky tíhou vozidla – rozdíl okamžité hmotnosti mezi vozidly cca 20 kg) větší deformaci pneumatiky, tím dochází k zvětšení stykové plochy mezi pneumatikou a vozovkou a zvětší se posunutí radiální reakce e . Ze vztahu 1.11 je potom patrný i nárůst hodnoty f u Felicie 1.3 s porovnáním s Felicií 1.9. Navíc u Felicie 1.9 byly použity pneumatiky, u kterých výrobce udává dosažení nižší hodnot f , ovšem neudává o kolik.

Při porovnání hodnot dosaženého f u vozů Škoda Fabia zjistíme, že Fabia 1.4 MPi a Fabia 2.0 MPi dosáhly stejných hodnot f . Pokud se zaměříme na použité pneumatiky a naměřené hodnoty tlaků v pneumatikách zjistíme, že rozměry pneumatik byly u obou vozidel totožné (185/60 R14) a naměřené tlaky v pneumatikách byly obdobné - Fabia 1.4 (2,2 – přední, 2,1 – zadní) a Fabia 2.0 (2,1 – přední, 2,2 – zadní). Toto mělo za následek obdobnou deformaci pneumatiky, a tím i posunutí radiální reakce e . Oproti tomu Fabia 1.9 TDi dosáhla průměrnou hodnotu f nižší a to 0,014. Použitý rozměr pneumatik 195/50 R15 a nahuštěné

všechny čtyři pneumatiky na hodnotu 2,4 (x 100 kPa) mají za následek nižší hodnotu f než u Fabie 1.4 a 2.0.

Rozdílné hodnoty f u vozidel Volkswagen Golf IV má za následek použité rozdílné rozměry pneumatik i rozdílný tlak v pneumatikách.

V další části zpracování naměřených hodnot byly spočítány jízdní odpory jednotlivých vozidel (do výpočtu byly dosazovány zjištěné hodnoty c_x a f - viz. tabulky 5.1 a 5.2). Následně byly zkonstruovány dojezdové charakteristiky (závislost celkového jízdního odporu na rychlosti jízdy) pro jednotlivá vozidla (příloha č.3).

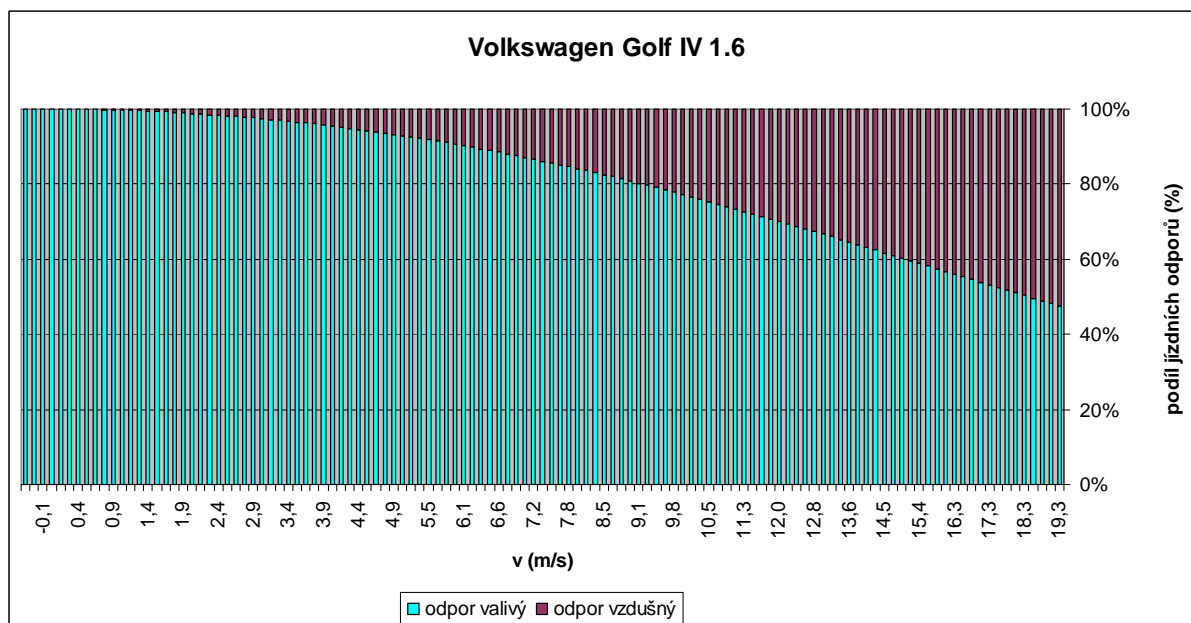


Obr. 5.7 Dojezdové charakteristiky Fabií

Na **Obr. 5.7** jsou na ukázkou dojezdové charakteristiky pro vybraná vozidla (sjednocené do jednoho grafu) v tomto případě Fabií. Počátek křivky ($v=0$ m/s) na ose y vystihuje hodnotu odporu valivého. Přesto, že Fabia TDi má ze všech třech Fabií největší hmotnost, tak hodnota odporu valivého je nejnižší, a to díky nižšímu f ($f = 0,014$, oproti $f = 0,018$ - Fabia 1.4 a 2.0). Na druhou stranu porovnáme-li Fabií 1.4 s Fabií 2.0 (mají stejné hodnoty $f = 0,018$), zjistíme, že i nepatrný rozdíl hmotnosti 40 kg se v dojezdové charakteristice projevuje.

Velikost odporu vzdušného je dána sklonem křivky (Oc-v), čím strmější křivka je, tím je vzdušný odpor v závislosti na rychlosti jízdy vozidla vyšší.

Následující graf na **Obr. 5.8** znázorňuje procentuální podíl dílčích částí celkového jízdniho odporu, který na vozidlo působí během dojezdové zkoušky.



Obr. 5.8 Grafické závislost procentuálního podílu vzdušného a valivého odporu na rychlosti jízdy

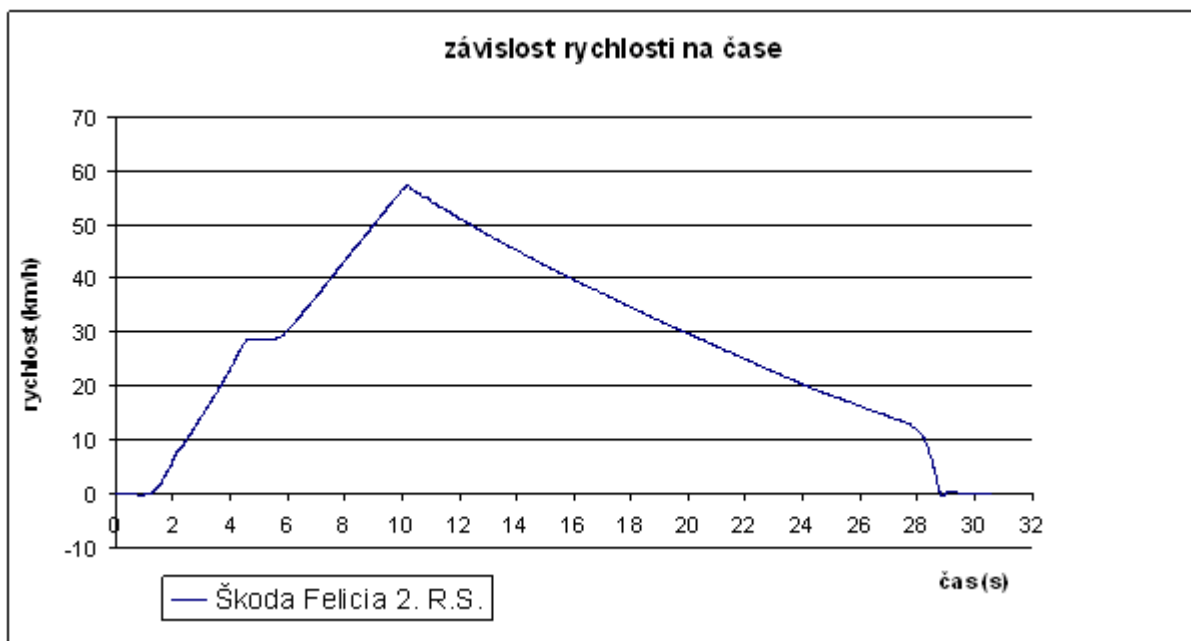
Z grafu je patrné, že při dojezdové zkoušce převládá odpor valivý nad vzdušným. Až u rychlosti téměř 70 km/h se velikost valivého a vzdušného odporu vyrovnají. Ovšem s postupnou vzrůstající rychlostí začne převládat odpor vzdušný nad valivým.

5.3.2 Hodnocení zpomalování vozidla se zařazeným rychlostním stupněm

Naměřené hodnoty byly z XL meteru staženy do PC pomocí USB kabelu a uloženy v programu xl-vision. Pro potřeby vyhodnocení byla data převedena do Microsoft Office Excel 2003. Jednalo se o hodnoty podélného a příčného zpomalení vozidla v závislosti na čase (časový interval záznamu u tohoto typu zařízení činí 0,005 s). Pro další práci byly použity pouze hodnoty podélného zpomalení, jelikož se jedná o přímočarý nerovnoměrně zpomalený pohyb. Naměřené hodnoty příčného zpomalení byly víceméně konstantní (vlivem nerovnosti vozovky se nepatrně hodnoty měnily).

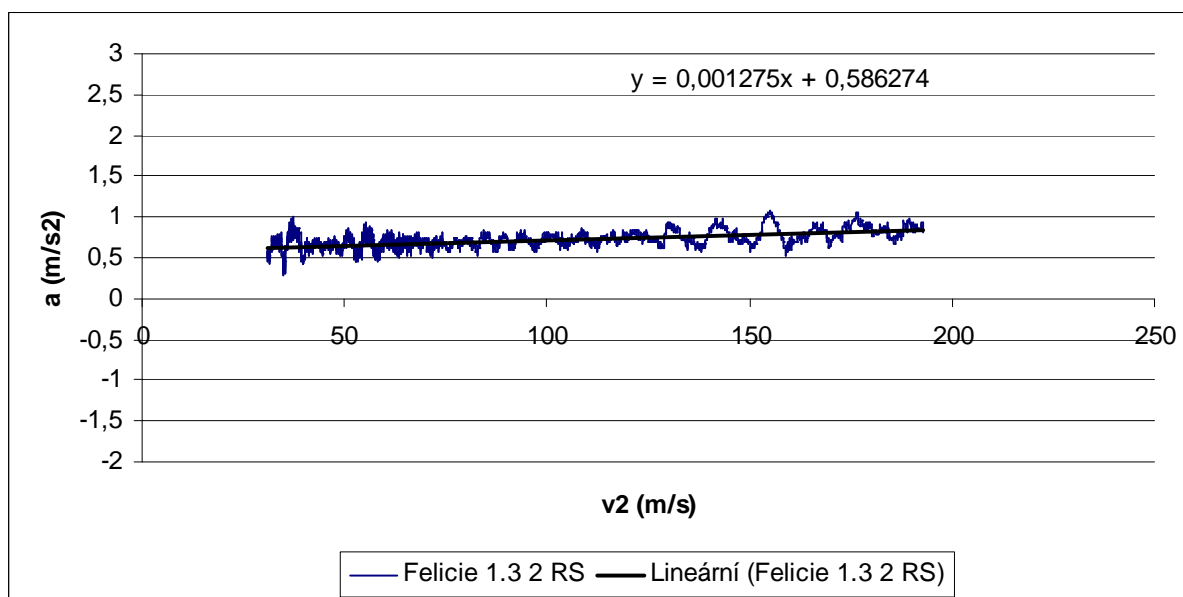
Z hodnot podélného zrychlení byly dopočteny hodnoty rychlosti. Tyto hodnoty byly zaneseny do grafu rychlost-čas. Tento postup byl proveden pro každý převodový stupeň a pro

každé vozidlo. Na **Obr. 5.9** je znázorněna závislost průběhu rychlosti na čase pro vozidlo Škoda Felicia 1.3 se zařazeným druhým rychlostním stupněm.



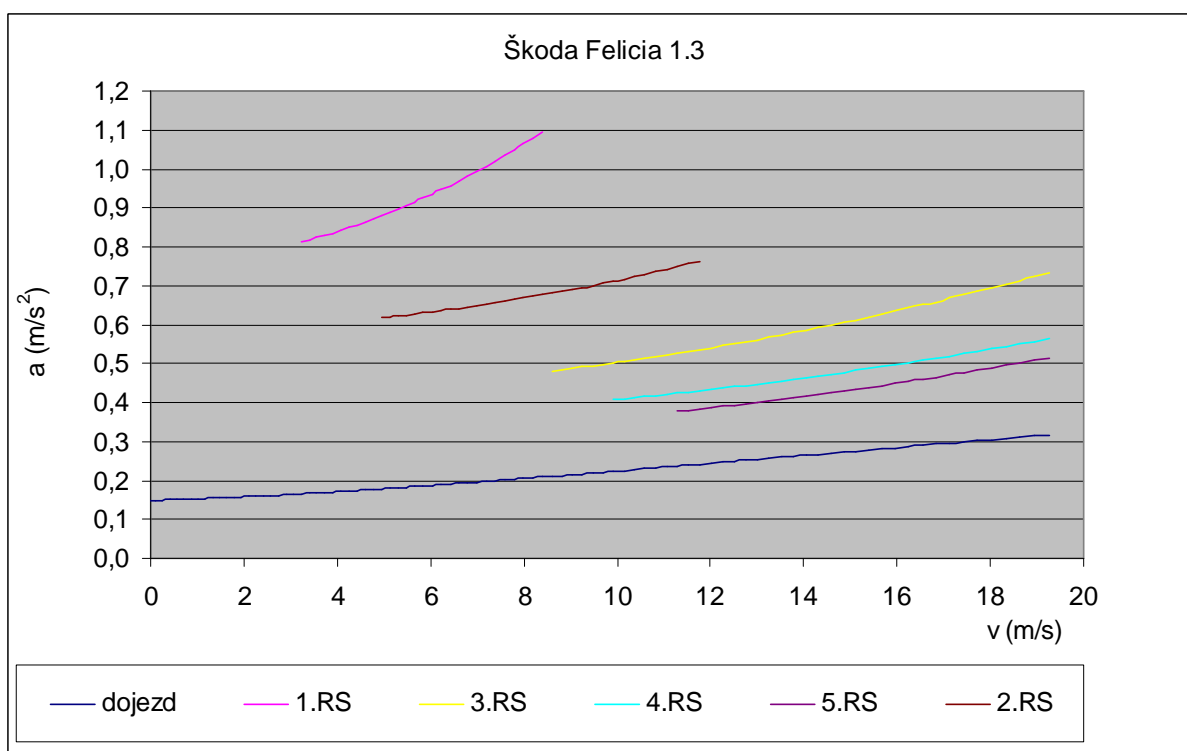
Obr. 5.9 Závislost rychlosti na čase – Škoda Felicia 1.3 – 2. R.S.

Dále byly zvoleny hodnoty rychlosti s ohledem na rozsah otáček konkrétního motoru v závislosti na zařazeném převodovém stupni [pro 1. R. S - (30-10) km/h, 2. R. S – (50-20) km/h, 3. R. S - (70-30) km/h, 4. R. S - (70-35) km/h a pro 5. R. S - (70-40) km/h (hodnoty jsou přibližné)]. Poté tyto hodnoty rychlosti byly umocněny druhou mocninou a graficky znázorněny v závislosti na podélném zpomalení vozidla (**Obr. 5.10**).



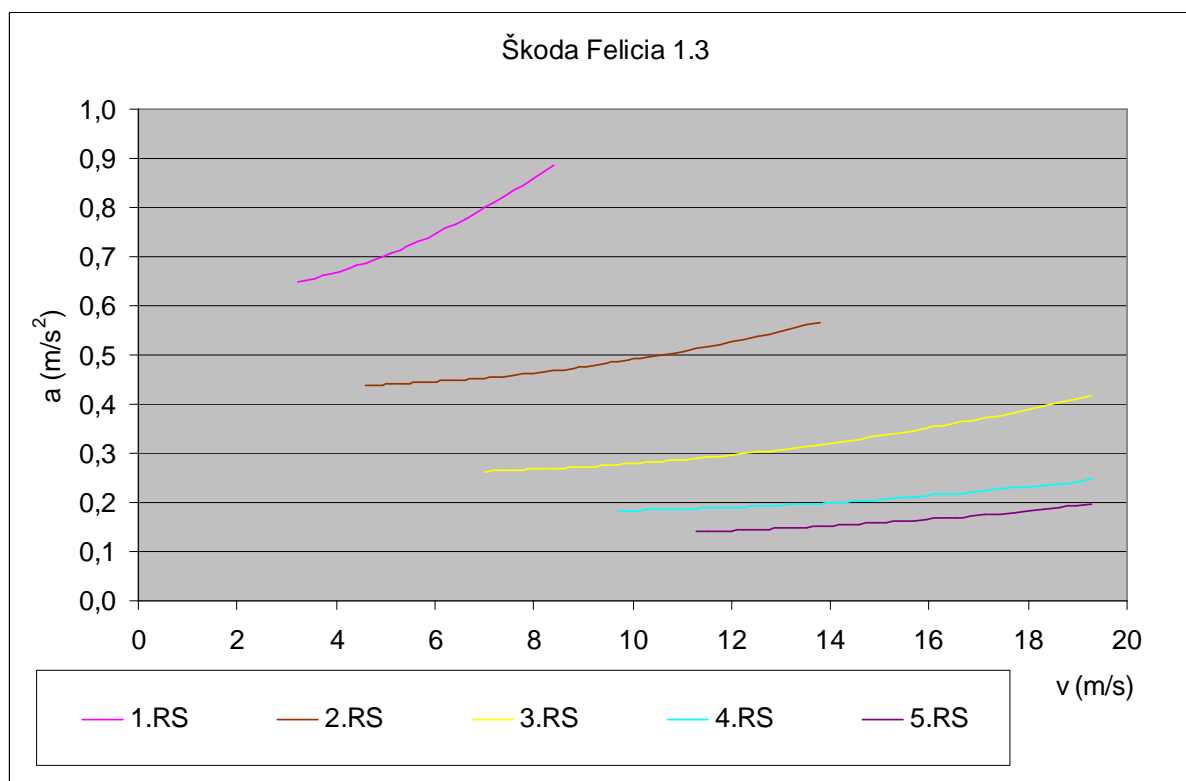
Obr. 5.10 závislost zpomalení na rychlosti na druhou Škoda Felicia 1.3-2.R.S

Následně byla závislost (**Obr. 5.9**) proležena přímkou, která vystihuje trend zpomalování vozidla. Rovnice regrese této přímky byla následně použita na dopočítání zpomalení pro porovnání z hodnotami zpomalení vozidla z dojezdové zkoušky s vyřazeným rychlostním stupněm. Výsledkem je soubor hodnot zpomalení v závislosti na rychlosti vozidla. Tento soubor byl vykreslen graficky. Důvodem je větší přehlednost průběhu zpomalení. Pro porovnání byly všechny rychlostní stupně vloženy do jednoho grafu. Pro názornost je **Obr. 5.11** graf pro vozidlo Škoda Felicia 1.3. Tento postup byl proveden pro každé vozidlo.



Obr. 5.11 Porovnání zpomalení R.S a zpomalení z dojezdové zkoušky Škoda Felicia 1.3

Na **obr. 5.11** je znázorněna závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla. Modrá křivka znázorňuje průběh hodnot zpomalení z dojezdové zkoušky vozidla (v tomto případě na vozidlo působily odpor vzdušný a valivý). Ostatní křivky v grafu vyjadřují zpomalení v závislosti na rychlosti pro jednotlivé převodové stupně. Pro vyjádření velikost nárůstu zpomalení vlivem zařazeného převodového stupně, byly jednotlivé hodnoty zpomalení z měření (zpomalování se zařazeným převodovým stupněm) odečteny od hodnot zpomalení z dojezdové zkoušky. Výsledné hodnoty zpomalení jsou způsobeny brzdou silou od motoru, která je přes převodové ústrojí, hnací nápravu vozidla a její kola přenášena na vozovku. Závislost tohoto zpomalení na rychlosti jízdy (Škoda Felicia 1.3) je znázorněna na **Obr. 5.12**.



Obr. 5.12 Zpomalení vozidla se zařazeným rychlostním stupněm bez vlivů odporu vzdušného a valivého

Z obr. 5.11 je patrné, že největší zpomalení je dosaženo při zařazení prvním převodovém stupni, menší při druhém, atd. až do pátého převodového stupně, kde je v porovnání zpomalení nejnižší. Pro přepočítání otáček motoru z rychlosti jízdy platí vztah:

$$v = 0,377 \cdot \frac{n \cdot r_d}{i_c} \Rightarrow n = \frac{v \cdot i_c}{0,377 \cdot r_d} \quad (5.9)$$

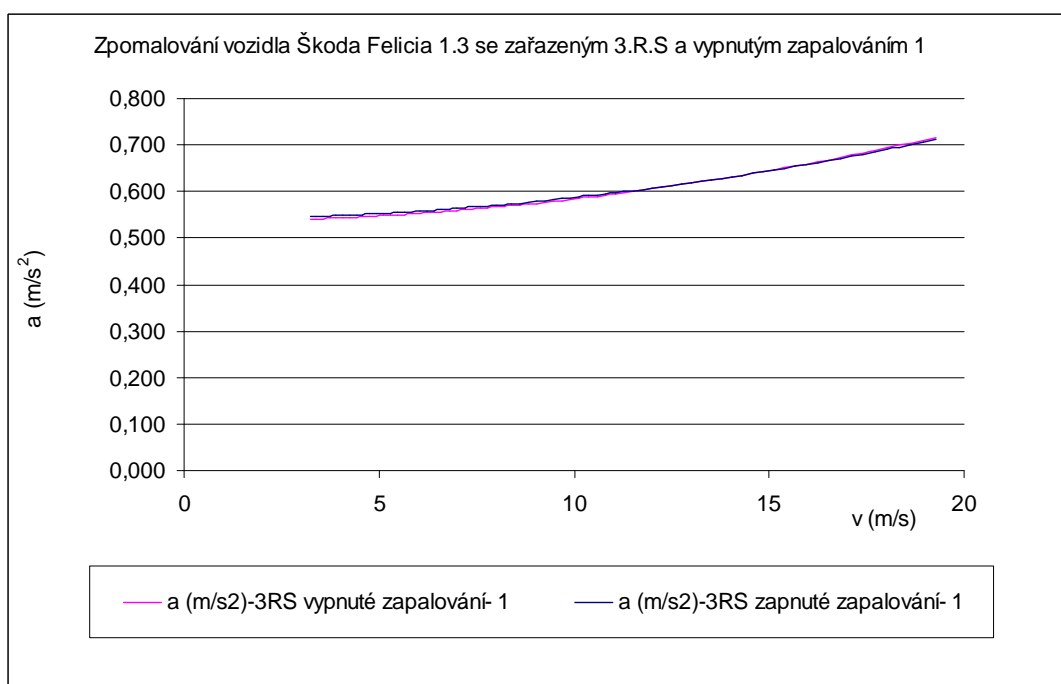
Toto porovnání bylo provedeno pro všechna vozidla. V následující tabulce jsou uvedeny dosažené hodnoty zpomalení pro jednotlivé rychlostní stupně u jednotlivých vozidel.

	1. R. S	2. R. S	3. R. S	4. R. S	5. R. S
	30-10 km/h	50-20 km/h	70-30 km/h	70-35 km/h	70-40 km/h
Felicia 1,3 i	0,8-1,1 m/s ²	0,6-0,8 m/s ²	0,5-0,8 m/s ²	0,4-0,6 m/s ²	0,3-0,5 m/s ²
Felicia 1,9 D	0,7-1,1 m/s ²	0,6-0,8 m/s ²	0,4-0,7 m/s ²	0,3-0,5 m/s ²	0,2-0,4 m/s ²
Golf IV 1,6 16v	0,8-1,1 m/s ²	0,6-0,8 m/s ²	0,5-0,8 m/s ²	0,4-0,6 m/s ²	0,3-0,5 m/s ²
Golf IV 1,9 TDi	0,7-1,1 m/s ²	0,6-0,8 m/s ²	0,5-0,8 m/s ²	0,5-0,6 m/s ²	0,3-0,5 m/s ²
Fabia 1,4 MPi	0,8-1,0 m/s ²	0,6-0,7 m/s ²	0,5-0,7 m/s ²	0,4-0,5 m/s ²	0,3-0,4 m/s ²
Fabia 2,0 MPi	0,9-1,1 m/s ²	0,6-0,8 m/s ²	0,5-0,7 m/s ²	0,4-0,6 m/s ²	0,3-0,4 m/s ²
Fabia 1,9 TDi	0,8-1,1 m/s ²	0,5-0,8 m/s ²	0,4-0,6 m/s ²	0,3-0,5 m/s ²	0,3-0,4 m/s ²
rozmezí zpomalení	0,7-1,1 m/s²	0,5- 0,8 m/s²	0,4- 0,8 m/s²	0,3- 0,6 m/s²	0,2- 0,5 m/s²

Grafy závislosti zpomalení se zařazeným převodovým stupněm na rychlosti jízdy vozidla jsou uvedeny v příloze č.4.

5.3.3 Hodnocení zpomalování vozidla se zařazeným rychlostním stupněm a vypnutým zapalováním

Naměřené hodnoty byly z XL meteru staženy do PC pomocí USB kabelu a uloženy v programu xl-vision a dále zpracovány stejným způsobem jako hodnocení zpomalování vozidla se zařazeným rychlostním stupněm se zapnutým zapalováním (kapitola 5.3.2). Na **obr. 5.13** je zobrazen průběh závislosti zpomalení na rychlosti vozidla se zařazeným R.S. a vypnutým zapalováním pro vozidlo Škoda Felicia 1.3 (3 R.S.). V **příloze č.5** jsou uvedeny další graficky vyjádřené zpomalení ze zkoušky.



Obr. 5.13 Zpomalování vozidla se zařazeným R.S. a vypnutým zapalováním

Z porovnání naměřených hodnot vyplývá, že průběh zpomalení při zpomalování vozidla Škoda Felicia 1.3 se zařazeným převodovým stupněm - se zapnutým zapalováním a s vypnutým zapalování dosahuje srovnatelných hodnot. Na **obr. 5.13** je znázorněna závislost zpomalení na rychlosti.

6 Závěr

Úvodní část této práce pojednává o teoretickém rozboru jízdních odporů. V praktické části je popsána příprava, realizace a vyhodnocení experimentálního měření. Realizované měření na vybraném vzorku vozidel se skládá ze tří částí. Jedná se o dojezdovou zkoušku, o zpomalování vozidla se zařazeným převodovým stupněm a o zpomalování vozidla se zařazeným převodovým stupněm s vypnutým zapalováním.

Z dojezdové zkoušky byly určeny součinitelé odporu vzduchu a valení, a to pro každou jízdu jednotlivě. Následně byla z určených hodnot součinitelů z každé jízdy vypočtena aritmetickým průměrem střední hodnota. Průměrné hodnoty součinitelů byly určeny pro každé vozidlo. Pro názornost byly vloženy do tabulky a následně porovnány mezi jednotlivými vozidly. Měřením bylo ověřeno, že velikost součinitel valení ovlivňuje jednak rozměr pneumatiky, ale také její nahuštění. Jeli pneumatika nahuštěna na nižší tlak dosahuje větších hodnot valivého odporu vlivem většího součinitele valivého odporu. Důvodem je zvětšení stykové plochy mezi pneumatikou a vozovkou, a tím posunutí působíště radiální reakce vozovky. Hodnota odpovídající tomuto posunu po vydělení hodnotou odpovídající velikosti dynamického poloměru kola přímo určuje velikost součinitele odporu valení. Hodnoty součinitele aerodynamického odporu z jednotlivých jízd byly vyprůměrovány a vloženy do tabulky pro následné porovnání s hodnotami, které udává výrobce vozidla. Bylo zjištěno, že určené hodnoty a hodnoty udávané výrobcem vozidel se mezi sebou liší v řádu jednotek procent. S ohledem na podmínky měření jsou tyto výsledky dostatečně přesné.

Z naměřených hodnot zpomalení při zpomalování vozidla se zařazeným převodovým stupněm vyplývá, že větších hodnot zpomalení je dosaženo se zařazeným nižším rychlostním stupněm. Naměřené rozmezí hodnot zpomalení odpovídající změně rychlosti jsou uvedeny pro jednotlivé rychlostní stupně a pro jednotlivá vozidla v tabulce.

Z porovnání naměřených hodnot z jízdy vozidla se zařazeným převodovým stupněm se zapnutým a vypnutým zapalováním bylo zjištěno, že dosažené hodnoty zpomalení jsou u obou jízd srovnatelné. Z toho vyplývá, že vozidlo bude při zpomalování s vypnutým zapalováním dosahovat stejných hodnot zpomalení jako u jízdy se zapalováním zapnutým.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] VLK, F.: *Dynamika motorových vozidel*, 1. vyd. Brno: NAKLADATELSTVÍ A VYDAVATELSTVÍ VLK, Brno, 2000. 434 str. ISBN 80-238-5273-6
- [2] VLK, F.: *Diagnostika motorových vozidel*, 1. vyd. Brno: NAKLADATELSTVÍ A VYDAVATELSTVÍ VLK, Brno, 2006. 442 str. ISBN 80-239-7064-X
- [3] VEMOLA, A.: *Diagnostika automobilů 1*, 1. vyd. Brno: NAKLADATELSTVÍ LITTERA KOVAŘÍK, Brno, 2006. 128 str. ISBN 80-85763-31-1
- [4] VALA, M.: *Bojová a speciální vozidla*, 1.vyd. Brno: VYDAVATELSKÉ ODDĚLENÍ UO, Brno. 2008.101str. ISBN 978-80-7231-574-1
- [5] TESAŘ, M., VALA, M.,: *Teorie a konstrukce silničních vozidel*, 1.vyd. Pardubice: EDIČNÍ STŘEDISKO UNIVERZITY PARDUBICE, Pardubice. 2003.230 str. ISBN 80-7194-503-X
- [6] SVOBODA, J.: *Teorie dopravních prostředků*, 3.vyd. Praha: VYDAVATELSTVÍ ČVUT, Praha. 1997.253 str. ISBN 80-01-01613-7
- [7] <http://www.pneu-asistent.cz/Konstrukce-funkce-a-vyroba-pneumatiky.html>
- [8] http://new.skoda-auto.com/CZE/Documents/Magaziny/SkodaMagazin_2008_PODZIM.pdf
- [9] <http://www.znalec.tym.cz/kola%20a%20pneu.pdf>
- [10] <http://www.autojob.cz/auto-magazin/clanek/16-spravny-tlak-setri-nejen-penezku.htm>
- [11] <http://www.i-autotip.cz/article/16.tema-cisla-aerodynamika>
- [12] <http://lu.fme.vutbr.cz/ucebnice/opory/aerodynamics.php>
- [13] <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3323>
- [14] Katalog automobilů ŠKODA a VOLKSWAGEN
- [15] <http://cs.autolexicon.net/articles/aerodynamika>
- [16] <http://www.vzlu.cz/>
- [17] http://en.wikipedia.org/wiki/Automobile_drag_coefficients
- [18] http://www.corrsys-datron.com/optical_sensors.htm

-
- [19] <http://www.mobilmania.cz/default.aspx?textart=1&article=1111127#chpt1>
- [20] [Soubor z přednášek z předmětu Teorie vozidel](#)
- [21] [Automobil revue 10/2009](#)
- [22] http://www.inventure.hu/xl_meter_en
- [23] <http://www.uspornajizda.cz/files/Prirucka-ridice-tridy-A.pdf>
- [24] <http://mapy.cz/#mm=FP@x=139931584@y=132349056@z=14>
- [25] [fotografie pořízené při samotném měření fotoaparátem Samsung s760](#)
- [26] <http://www.cic.cz/www/ke-stazeni/>

8 Seznam použitých symbolů

a	zrychlení (zpomalení) vozidla	m/s ²
a_s	zrychlení (zpomalení), které udává podélný sklon vozovky	m/s ²
B	rozchod kol vozidla	m
c_x	součinitel vzdušného odporu	(-)
c_φ	obvodová tuhost	N/m
e	posunutí radiální rekce vozovky	m
f	součinitel valivého odporu	(-)
f_K	součinitel valivého odporu kola	(-)
F_p	přebytek síly	N
F_y	boční síla	N
F_{ad}	adhezní síla	N
F_H	potřebná hnací síla na kolech vozidla	N
g	tíhové zrychlení	m/s ²
G	tíhová síla vozidla	N
h	výškový rozdíl dráhy vozidla	m
H	celková výška vozidla	m
i_c	celkový převod mezi motorem a hnacími koly	(-)
i_r	převod rozvodovky	(-)
$i_{r.s.}$	převodový poměr pro konkrétní rychlostní stupeň	(-)
$i_{s.p.}$	převodový poměr - stálý převod	(-)
J_{ki}	moment setrvačnosti rotujících kol vozidla	kg*m ²
J_m	moment setrvačnosti rotujících částí motoru	kg*m ²
J_p	moment setrvačnosti rotujících částí převodového ústrojí	kg*m ²
k	konstanta	(-)
l	dráha vozidla při stoupání promítnuta do vodorovné osy	m
m	hmotnost vozidla	kg
m_c	hmotnost cestujících	kg
m_n	hmotnost nákladu	kg
m_v	hmotnost vozidla	kg
m_{v_celk}	hmotnost vozidla celková	kg
M_{fK}	moment působící proti otáčení kola	Nm
M_k	moment působící na kolo, které stojí na nepohyblivé podložce	Nm
M_m	moment motoru	Nm
M_r	setrvačný moment rotačních částí vozidla	Nm
M_{rK}	moment potřebný ke zrychlení kol vozidla	Nm

M_{rm}	momentu na hnacích kolech vozidla	Nm
M_{rp}	moment nutný pro zrychlení rotujících částí převodového ústrojí	Nm
n	otáčky kola	min ⁻¹
n_m	otáčky motoru	min ⁻¹
o	obvod ujeté dráha kola	m
O_f	odpor valení	N
O_{jK}	valivý odpor jednoho kola	N
O_p	odpor přívěsu	N
O_s	odpor stoupání	N
O_v	odpor vzdušný	N
O_z	odpor zrychlení	N
p_o	tlak vzduchu	Pa
P_H	hnací výkon	kW
P_m	výkon motoru	kW
r	poloměr obecně	m
r_d	dynamický poloměr kola	m
s	stoupání	%
S_x	čelní plocha vozidla	m ²
t_o	teplota vzduchu	m/s
v	rychlost jízdy	m/s
v_r	výsledná rychlost proudění vzduchu kolem vozidla	m/s
v_v	rychlost větru	m/s
v_x	rychlost ve směru osy x	m/s
V_u	aproximovaná rychlost	m/s
Δy	boční posunutí středu kola při deformaci	m
Z_K	radiální reakce vozovky	N
α	úhel mezi vodorovnou a nakloněnou rovinou	°
β	úhel, který svírá podélná osa vozidla se směrem větru	°
η	účinnost převodového ústrojí	%
ρ	měrná hmotnost vzduchu	kg*m ⁻³
μ	součinitel adheze	(-)
ω	úhlová rychlost	rad/s
\mathcal{T}	úhel, který svírá V_x a V_r	°
$\Delta\varphi$	natočení ráfku	°
ϑ	součinitel vlivu rotačních částí	(-)

9 Seznam příloh

- Příloha č.1: Technické údaje vozidel
- Příloha č.2: Grafické vyhodnocení rovnice regrese u dojezdové zkoušky
- Příloha č.3: Dojezdové charakteristiky vozidel
- Příloha č.4: Grafické znázornění zpomalení vozidla se zařazeným rychlostním stupněm v závislosti na rychlosti
- Příloha č.5: Záznam z XL-meteru, grafické znázornění zpomalení vozidla se zařazeným rychlostním stupněm a vypnutým zapalováním v závislosti na rychlosti
- Příloha č.6: Trakční diagramy vozidel použitých při měření (elektronická verze)

Přílohy :

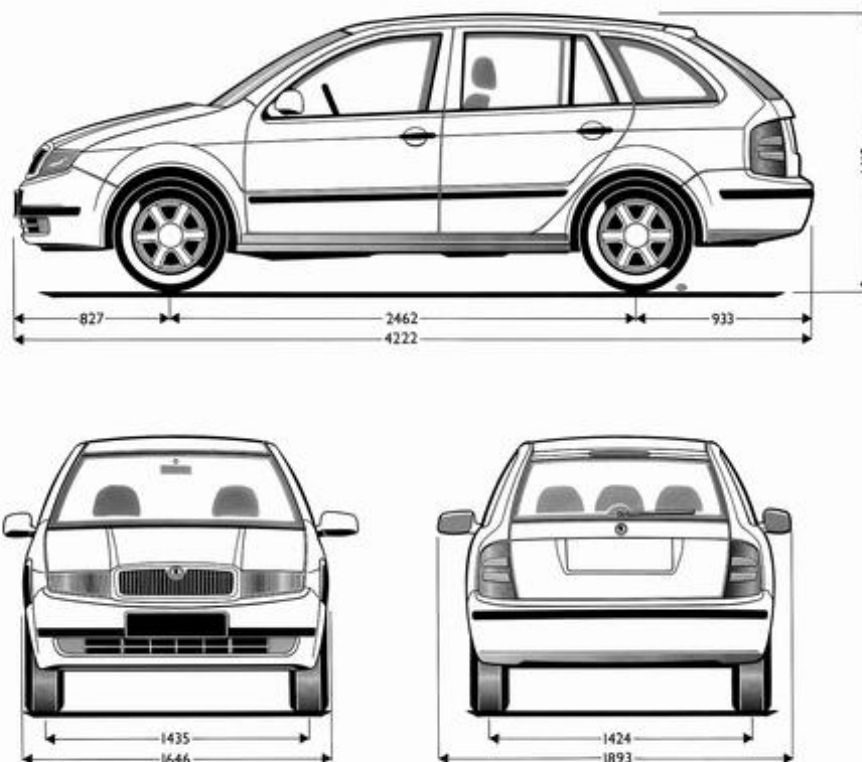
Technické údaje vozidel

Příloha 1

Strana 1

ŠKODA FABIA I (kombi)

Rozměry vozidla:



Délka vozu	4222 mm
Šířka vozu	1646 mm
Výška vozu	1418 mm
Rozvor	2462 mm
Přední převis	827 mm
Zadní převis	933 mm
Rozchod vpředu	1435 mm
Rozchod vzadu	1424 mm

Technické parametry vozidla ŠKODA FABIA I (kombi):

	1,9 TDi	2,0 MPI
zdvihový objem (cm ³)	1896	1984
druh motoru	vznětový	zážehový
válců/ventilů	4 / 2	4 / 2
vrtání/zdvih (mm)	79,6 / 95,5	82,5 / 92,8
kompresní poměr	19:1	10,5:1
výkon (kW/min ⁻¹)	74/4000	85/5400
točivý moment (N.m/min ⁻¹)	250 / 1800	170 / 2400
typ převodovky / počet stupňů	manuální / 5	manuální / 5
max. rychlost (km/h)	187	195
zrychlení o na 100 km/h (s)	11,6	9,9
spotřeba (l/100km) mimo město	4,0	5,9
ve městě	6,1	10,9
kombinovaná	5,0	7,7
palivo	motorová nafta	natural
hmotnost-pohotovostní / celková (kg)	1185 / 1670	1145 / 1660
součinitel odporu vzduchu (-)	0,31	0,32
čelní plocha vozidla (m ²)	2,0	2,0
pneumatiky	185/60/R14	185/50/R15

Převodové poměry:

Pro 1,9 TDi	1.R.S.	2.R.S.	3.R.S.	4.R.S.	5.R.S.	zpátečka
Převodová rychlost	3,778	2,063	1,304	0,903	0,7	3,6
Stálý převod	3,158	3,158	3,158	3,158	3,158	3,158
Celkový převod	11,93	6,51	4,12	2,85	2,21	11,37

Pro 2,0i	1.R.S.	2.R.S.	3.R.S.	4.R.S.	5.R.S.	zpátečka
Převodová rychlost	3,455	2,095	1,433	1,103	0,889	3,182
Stálý převod	3,353	3,353	3,353	3,353	3,353	3,353
Celkový převod	11,58	7,02	4,80	3,70	2,98	10,67

Technické parametry vozidla ŠKODA FABIA I (kombi):

	1,4 MPI
zdvihový objem (cm ³)	1397
druh motoru	zážehový
válců/ventilů	4 / 2
vrtání/zdvih (mm)	75,5 / 78
kompresní poměr	10:1
výkon (kW/min ⁻¹)	50/5000
točivý moment (N.m/min ⁻¹)	120 / 2500
typ převodovky / počet stupňů	manuální / 5
max. rychlost (km/h)	168
zrychlení o na 100 km/h (s)	16,3
spotřeba (l/100km) mimo město	5,6
ve městě	9,8
kombinovaná	7,2
palivo	natural
hmotnost-pohotovostní / celková (kg)	1100 / 1615
součinitel odporu vzduchu (-)	0,32
čelní plocha vozidla (m ²)	2,0
pneumatiky	185/60/R14

Převodové poměry:

Pro 1,4 MPI	1.R.S.	2.R.S.	3.R.S.	4.R.S.	5.R.S.	zpátečka
Převodová rychlost	3,462	1,957	1,31	0,975	0,756	2,923
Stálý převod	4,118	4,118	4,118	4,118	4,118	4,118
Celkový převod	14,26	8,06	5,39	4,02	3,11	12,04

Parametry vozidla zjištěné ke dni měření:

Vozidlo:	Škoda Fabia kombi 1.4 MPi (50 kW)
SPZ:	1B0 0640
Barva:	šedá metalíza
Rok výroby:	2002
Stav tachometru ke dni měření:	64 700 km
Aktuální hmotnost ke dni měření:	
- přední náprava:	620 kg
- zadní náprava:	560 kg
- celková:	1 180 kg
Použité pneumatiky:	Barum Brillantis 2
-rozměr:	185/60 R14 82H
-hloubka dezénu:	7 mm (přední) 6 mm (zadní)
-tlak v pneumatikách: LP	2,1 (x 100 kPa)
PP	2,1 (x 100 kPa)
LZ	2,2 (x 100 kPa)
LP	2,2 (x 100 kPa)



Parametry vozidla zjištěné ke dni měření:

Vozidlo:	Škoda Fabia kombi 2.0 MPi (85 kW)
SPZ:	BKH 78-25
Barva:	bílá
Rok výroby:	2001
Stav tachometru ke dni měření:	84 200 km
Aktuální hmotnost ke dni měření:	
- přední náprava:	650 kg
- zadní náprava:	570 kg
- celková:	1 220 kg
Použité pneumatiky:	Dunlop SP Fastresponse
-rozměr:	185/60 R14 82H
-hloubka dezénu:	6 mm (přední) 6 mm (zadní)
-tlak v pneumatikách: LP	2,2 (x 100 kPa)
PP	2,2 (x 100 kPa)
LZ	2,1 (x 100 kPa)
LP	2,1 (x 100 kPa)



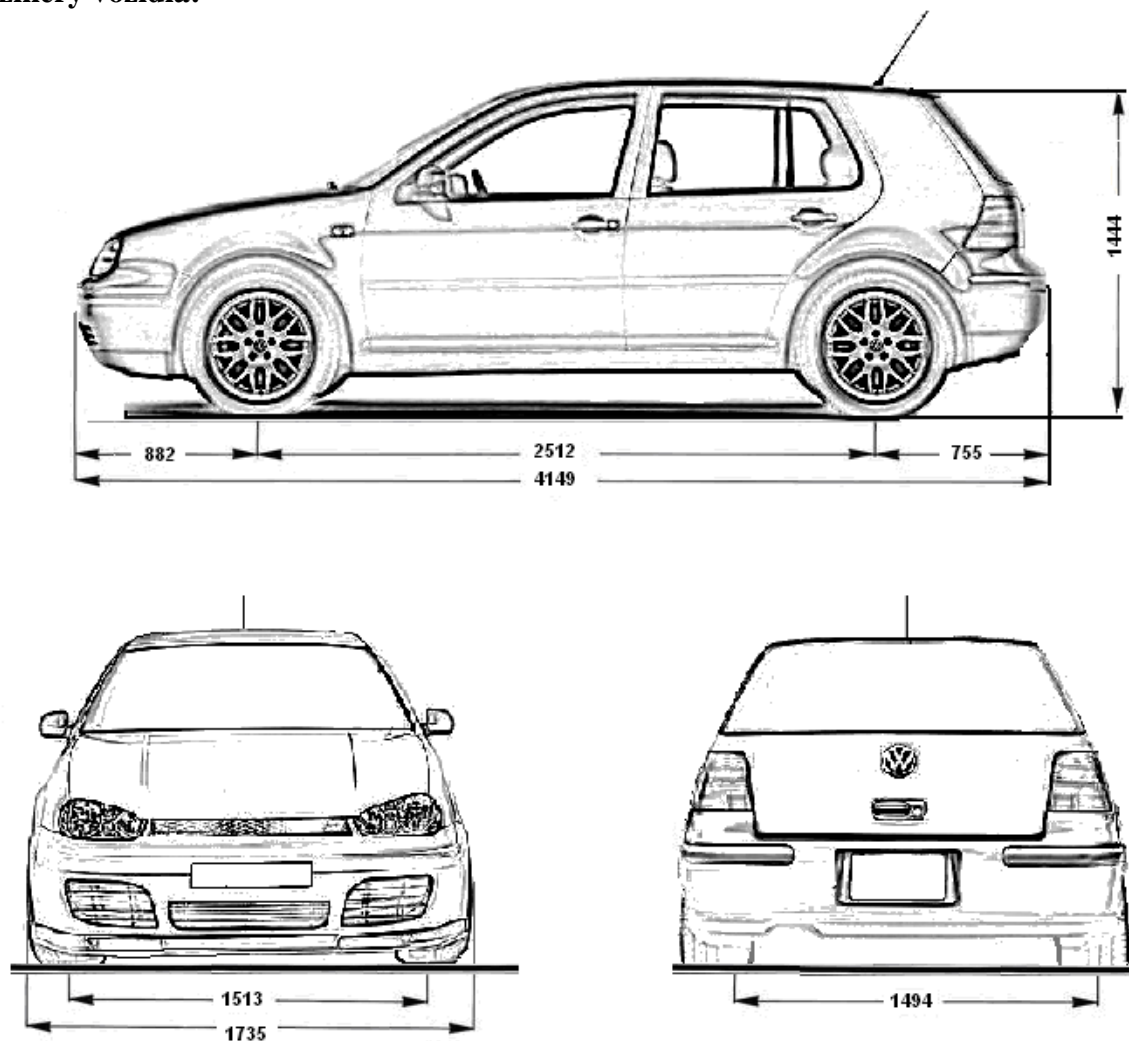
Parametry vozidla zjištěné ke dni měření:

Vozidlo:	Škoda Fabia kombi 1.9 TDi (74 kW)
SPZ:	5B0 2729
Barva:	stříbrná metaíza
Rok výroby:	2001
Stav tachometru ke dni měření:	156 800 km
Aktuální hmotnost ke dni měření:	
- přední náprava:	750 kg
- zadní náprava:	600 kg
- celková:	1 350 kg
Použité pneumatiky:	Dunlop SP Fastresponse
-rozměr:	195/50 R15 82V
-hloubka dezénu:	4 mm (přední) 3 mm (zadní)
-tlak v pneumatikách: LP	2,4 (x 100 kPa)
PP	2,4 (x 100 kPa)
LZ	2,4 (x 100 kPa)
LP	2,4 (x 100 kPa)



VOLKSWAGEN GOLF IV

Rozměry vozidla:



Délka vozu	4149 mm
Šířka vozu	1735 mm
Výška vozu	1444 mm
Rozvor	2512 mm
Přední převis	882 mm
Zadní převis	755 mm
Rozchod vpředu	1513 mm
Rozchod vzadu	1494 mm

Technické parametry vozidla GOLF IV:

	1,9TDi	1,6 16v
zdvihový objem (cm ³)	1896	1595
druh motoru	vznětový	zážehový
válců/ventilů	4 / 2	4 / 4
vrtání/zdvih (mm)	79,5 / 95,5	71 / 77,4
kompresní poměr	19,5:1	10,5:1
výkon (kW/min ⁻¹)	81 / 4150	74 / 5700
točivý moment (N.m/min ⁻¹)	235 / 1900	148 / 3800
typ převodovky / počet stupňů	manuální / 5	manuální / 5
max. rychlost (km/h)	193	190
zrychlení o na 100 km/h (s)	11,2	11,8
spotřeba (l/100km) mimo město	4,4	5,8
ve městě	6,9	10
kombinovaná	5,3	7,4
palivo	motorová nafta	natural
hmotnost-pohotovostní / celková (kg)	1245 / 1750	1130 / 1700
součinitel odporu vzduchu (-)	0,31	0,31
čelní plocha vozidla (m ²)	2,03	2,03
pneumatiky	195 / 65 / R15	175 / 70 / R14

převodové poměry

Pro 1,9 TDi	1.R.S.	2.R.S.	3.R.S.	4.R.S.	5.R.S.	zpátečka
Převodová rychlost	3,778	2,118	1,36	0,971	0,756	3,6
Stálý převod	3,389	3,389	3,389	3,389	3,389	3,389
Celkový převod	12,80	7,18	4,61	3,29	2,56	12,20

Pro 1,6 16v	1.R.S.	2.R.S.	3.R.S.	4.R.S.	5.R.S.	zpátečka
Převodová rychlost	3,455	1,944	1,286	0,969	0,805	3,167
Stálý převod	4,250	4,250	4,250	4,250	4,250	4,250
Celkový převod	14,98	8,26	5,47	4,11	3,42	13,46

Parametry vozidla zjištěné ke dni měření:

Vozidlo:	Volkswagen Golf IV 1.6 16v (74kW)
SPZ:	3B7 7854
Barva:	šedá metalíza
Rok výroby:	1999
Stav tachometru ke dni měření:	168 050 km
Aktuální hmotnost ke dni měření:	
- přední náprava:	670 kg
- zadní náprava:	520 kg
- celková:	1 190 kg
Použité pneumatiky:	Continntal Ecocontatc 3
-rozměr:	175/70 R14 84T
-hloubka dezénu:	4 mm (přední) 5 mm (zadní)
-tlak v pneumatikách: LP	2,4 (x 100 kPa)
PP	2,4 (x 100 kPa)
LZ	2,4 (x 100 kPa)
LP	2,4 (x 100 kPa)



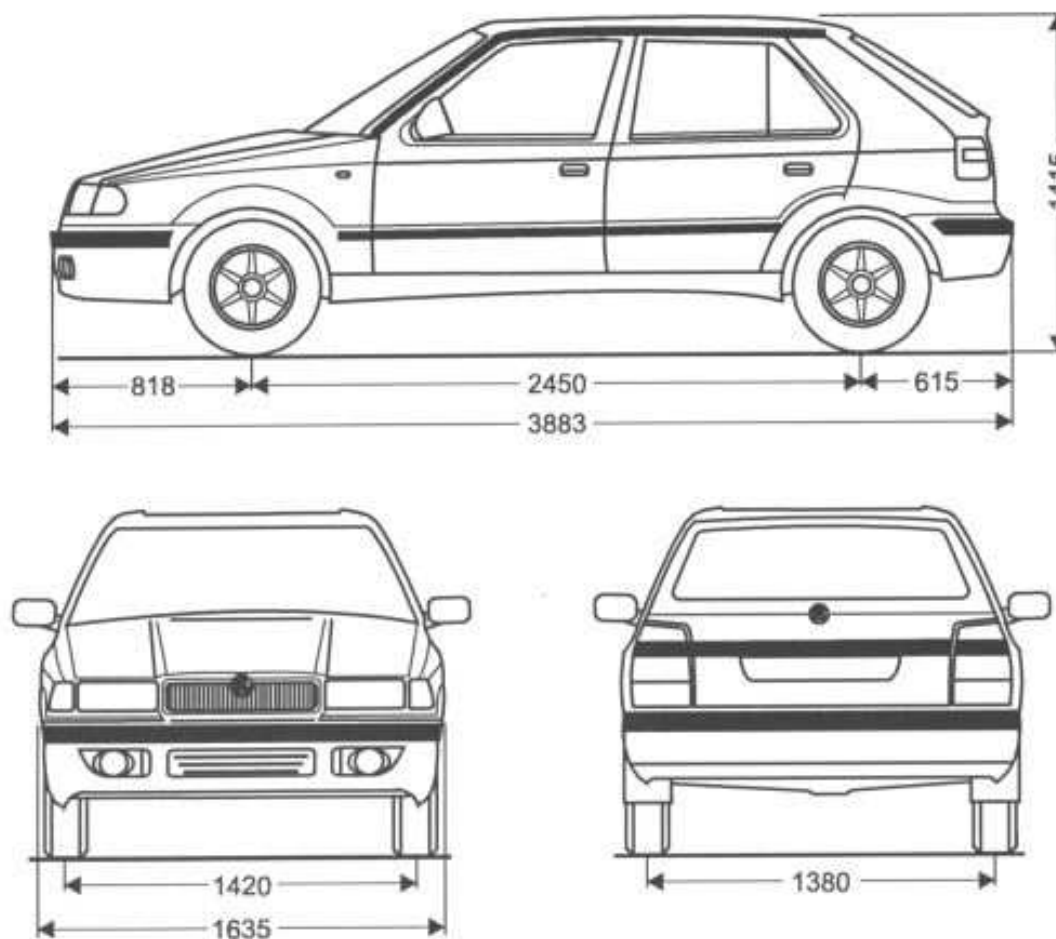
Parametry vozidla zjištěné ke dni měření:

Vozidlo:	Volkswagen Golf IV 1.9 TDi (81kW)
SPZ:	7B2 6729
Barva:	šedá metalíza
Rok výroby:	2001
Stav tachometru ke dni měření:	155 400 km
Aktuální hmotnost ke dni měření:	
- přední náprava:	740 kg
- zadní náprava:	620 kg
- celková:	1 360 kg
Použité pneumatiky:	Bridgestone
-rozměr:	195/65 R15 81T
-hloubka dezénu:	3 mm (přední) 4 mm (zadní)
-tlak v pneumatikách: LP	2,3 (x 100 kPa)
PP	2,3 (x 100 kPa)
LZ	2,2 (x 100 kPa)
LP	2,2 (x 100 kPa)



ŠKODA FELICIA

Rozměry vozidla:



Délka vozu	3883 mm
Šířka vozu	1635 mm
Výška vozu	1415 mm
Rozvor	2450 mm
Přední převis	818 mm
Zadní převis	615 mm
Rozchod vpředu	1420 mm
Rozchod vzadu	1380 mm

Technické parametry vozidla ŠKODA FELICIA:

	1,9D	1,3 i
zdvihový objem (cm ³)	1896	1289
druh motoru	vznětový	zážehový
válců/ventilů	4 / 2	4 / 2
vrtání/zdvih (mm)	79,5/98,5	75,5/72
kompresní poměr	22,5:1	10:1
výkon (kW/min ⁻¹)	47/4300	50/5000
točivý moment (N.m/min ⁻¹)	124 / 2500-3200	106 / 2600
typ převodovky / počet stupňů	manuální / 5	manuální / 5
max. rychlost (km/h)	156	162
zrychlení o na 100 km/h (s)	16,5	14
spotřeba (l/100km) mimo město	4,2	5,1
ve městě	6,5	9,3
kombinovaná	5,9	6,7
palivo	motorová nafta	natural
hmotnost-pohotovostní / celková (kg)	970/1455	935/1420
součinitel odporu vzduchu (-)	0,35	0,35
čelní plocha vozidla (m ²)	1,92	1,92
pneumatiky(rozměry)	165/70/13	165/70/13

Převodové poměry:

Pro 1,9 D	1.R.S.	2.R.S.	3.R.S.	4.R.S.	5.R.S.	zpátečka
Převodová rychlost	3,362	1,957	1,31	0,975	0,756	2,923
Stálý převod	3,579	3,579	3,579	3,579	3,579	3,579
Celkový převod	12,03	7,00	4,69	3,49	2,71	10,46

Pro 1,3 i	1.R.S.	2.R.S.	3.R.S.	4.R.S.	5.R.S.	zpátečka
Převodová rychlost	3,462	1,957	1,31	0,975	0,756	2,923
Stálý převod	3,833	3,833	3,833	3,833	3,833	3,833
Celkový převod	13,27	7,50	5,02	3,74	2,90	11,20

Parametry vozidla zjištěné ke dni měření:

Parametry vozidla zjištěné ke dni měření:

Vozidlo:	Škoda Felicia
SPZ:	BOL 52-67
Barva:	bílá
Rok výroby:	1999
Stav tachometru ke dni měření:	145 900 km
Aktuální hmotnost ke dni měření:	
- přední náprava:	550 kg
- zadní náprava:	490 kg
- celková:	1 040 kg
Použité pneumatiky:	Barum Briliants 2
-rozměr:	165/70 R13 79T
-hloubka dezénu:	8 mm
-tlak v pneumatikách: LP	2,0 (x 100 kPa)
PP	2,0 (x 100 kPa)
LZ	2,1 (x 100 kPa)
LP	2,1 (x 100 kPa)

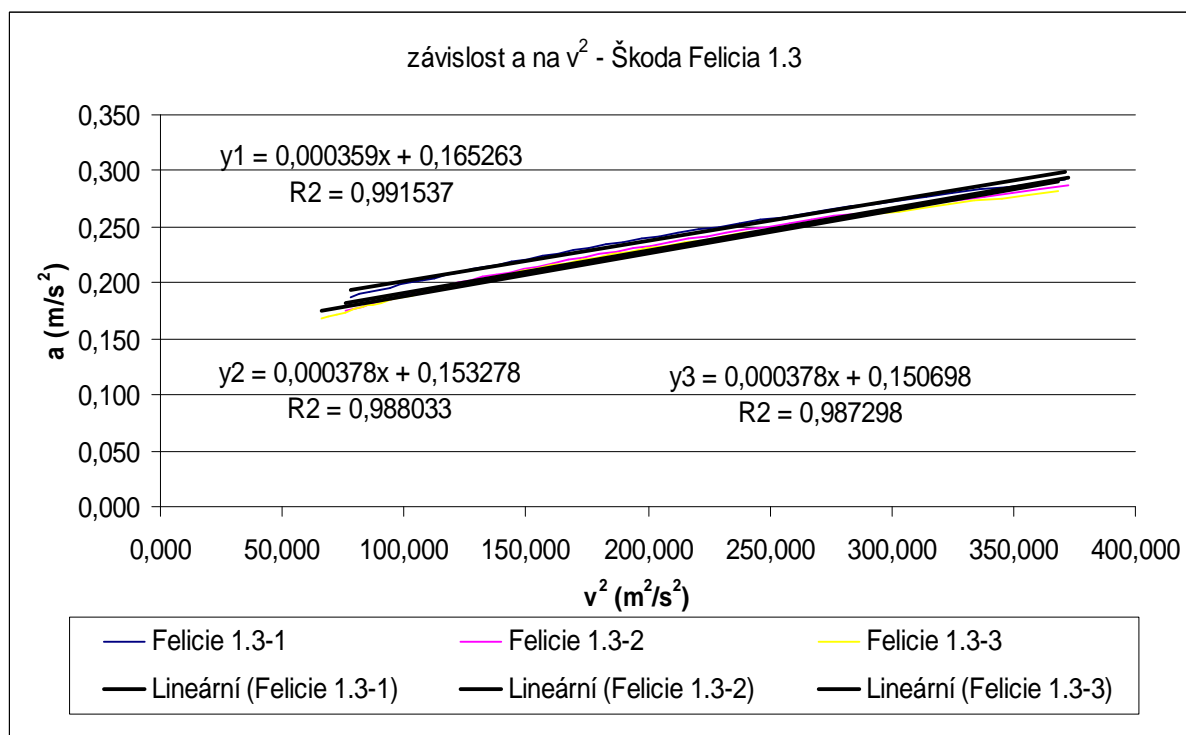


Parametry vozidla zjištěné ke dni měření:

Vozidlo:	Škoda Felicia
SPZ:	BOL 52-67
Barva:	zelená metalíza
Rok výroby:	2001
Stav tachometru ke dni měření:	71 800 km
Aktuální hmotnost ke dni měření:	
- přední náprava:	560 kg
- zadní náprava:	500 kg
- celková:	1 060 kg
Použité pneumatiky:	Michaelin Energy E3b
-rozměr:	165/70 R13 79T
-hloubka dezénu:	4 mm
-tlak v pneumatikách: LP	2,5 (x 100 kPa)
PP	2,5 (x 100 kPa)
LZ	2,5 (x 100 kPa)
LP	2,5 (x 100 kPa)

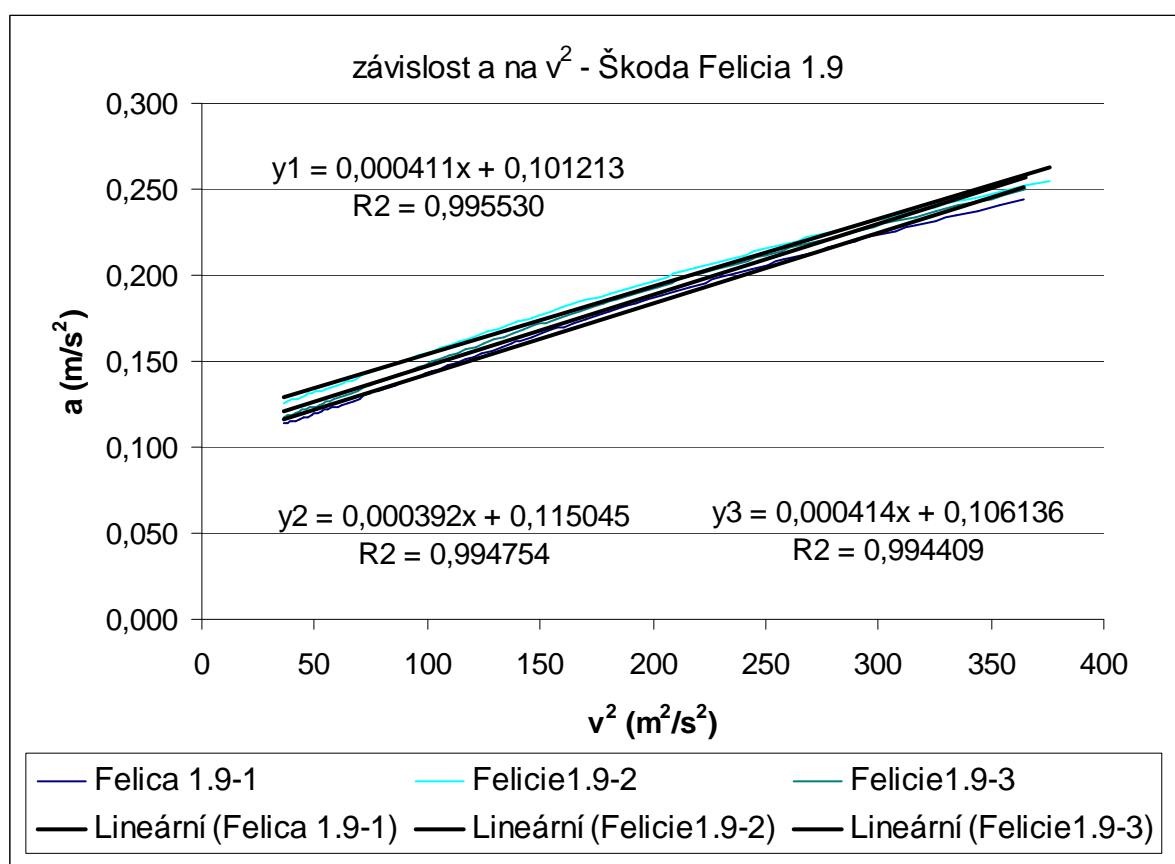


Škoda Felicia 1.3 MPi



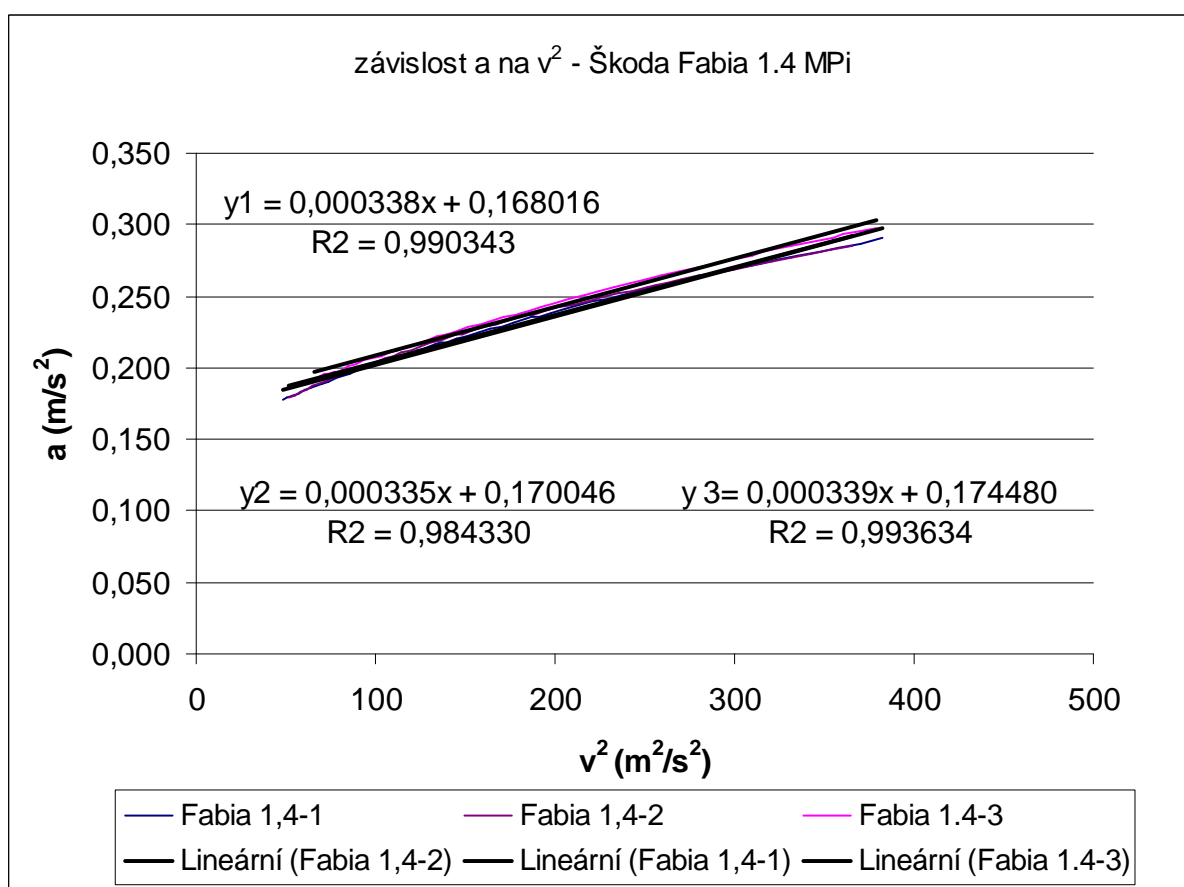
jízda	rovnice regrese	k1	k2	cx	f
1	$y = 0,000359x + 0,165263$ $R2 = 0,991537$	0,000359	0,165263	0,323	0,017
2	$y = 0,000378x + 0,153278$ $R2 = 0,988033$	0,000378	0,153278	0,340	0,016
3	$y = 0,000378x + 0,150698$ $R2 = 0,987298$	0,000378	0,150698	0,340	0,016
		průměrné hodnoty:		0,334	0,016

Škoda Felicia 1.9 D



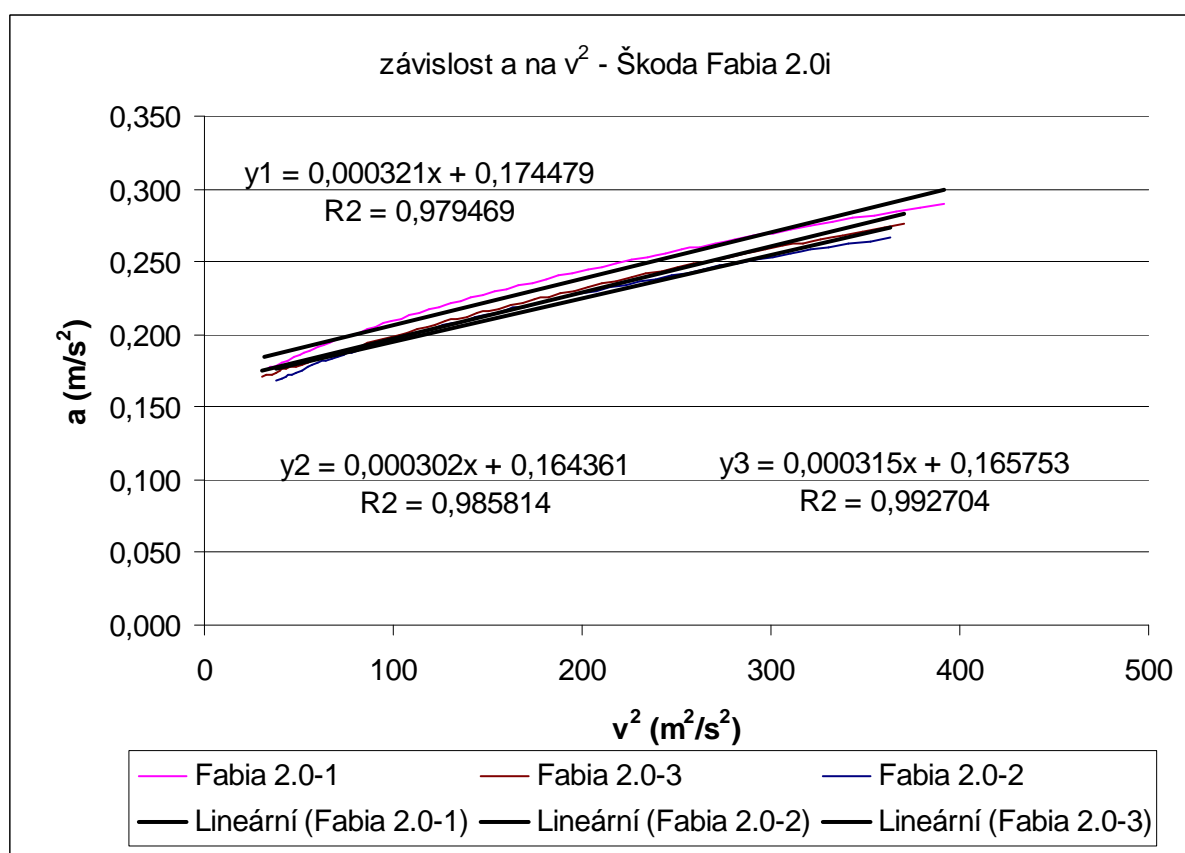
jízda	rovnice regrese	k1	k2	cx	f
1	$y_1 = 0,000411x + 0,101213$ R2 = 0,995530	0,000411	0,101213	0,371	0,011
2	$y_2 = 0,000392x + 0,115045$ R2 = 0,994754	0,000392	0,115045	0,354	0,012
3	$y_3 = 0,000414x + 0,106136$ R2 = 0,994409	0,000414	0,106136	0,374	0,011
		průměrné hodnoty:		0,366	0,011

Škoda Fabia 1.4 MPI



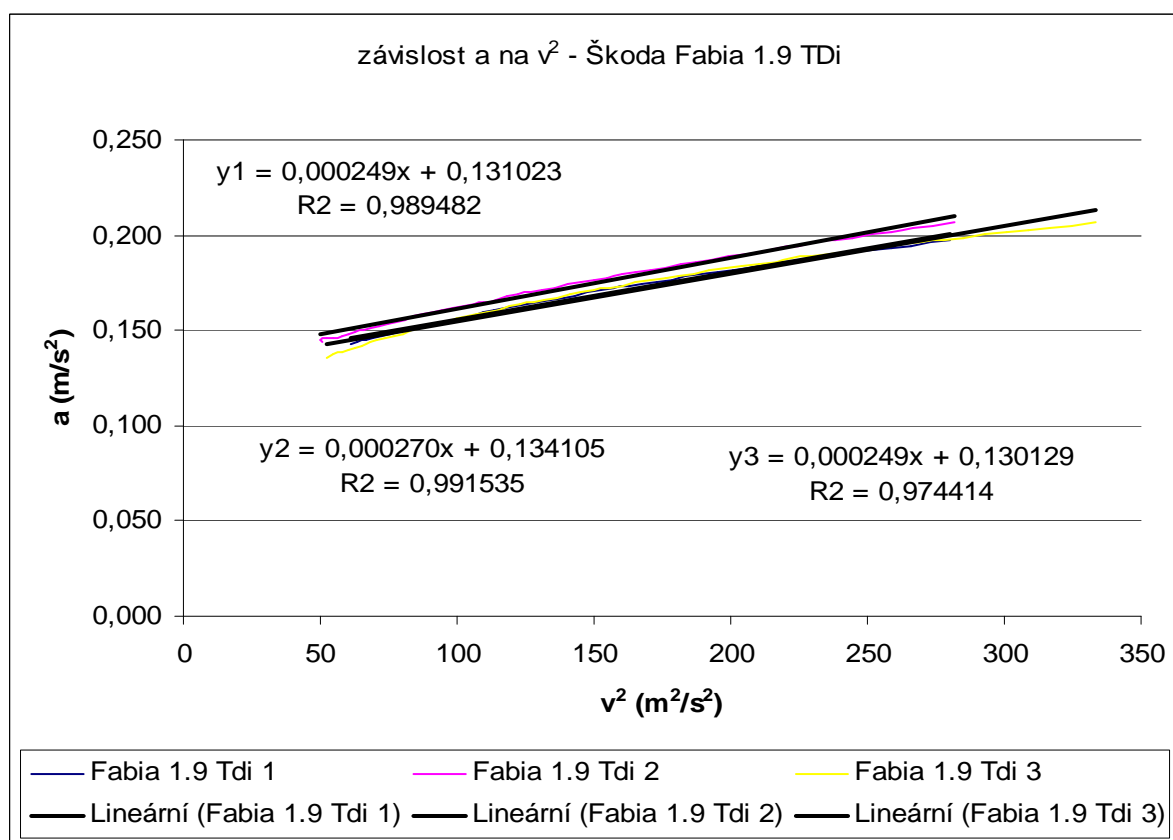
jízda	rovnice regrese	k1	k2	cx	f
1	$y = 0,000321x + 0,174479$ $R2 = 0,979469$	0,000321	0,174479	0,325	0,018
2	$y = 0,000302x + 0,164361$ $R2 = 0,985814$	0,000302	0,164361	0,306	0,017
3	$y = 0,000315x + 0,165753$ $R2 = 0,992704$	0,000315	0,165753	0,319	0,017
		průměrné hodnoty:		0,317	0,018

Škoda Fabia 2.0 MPi



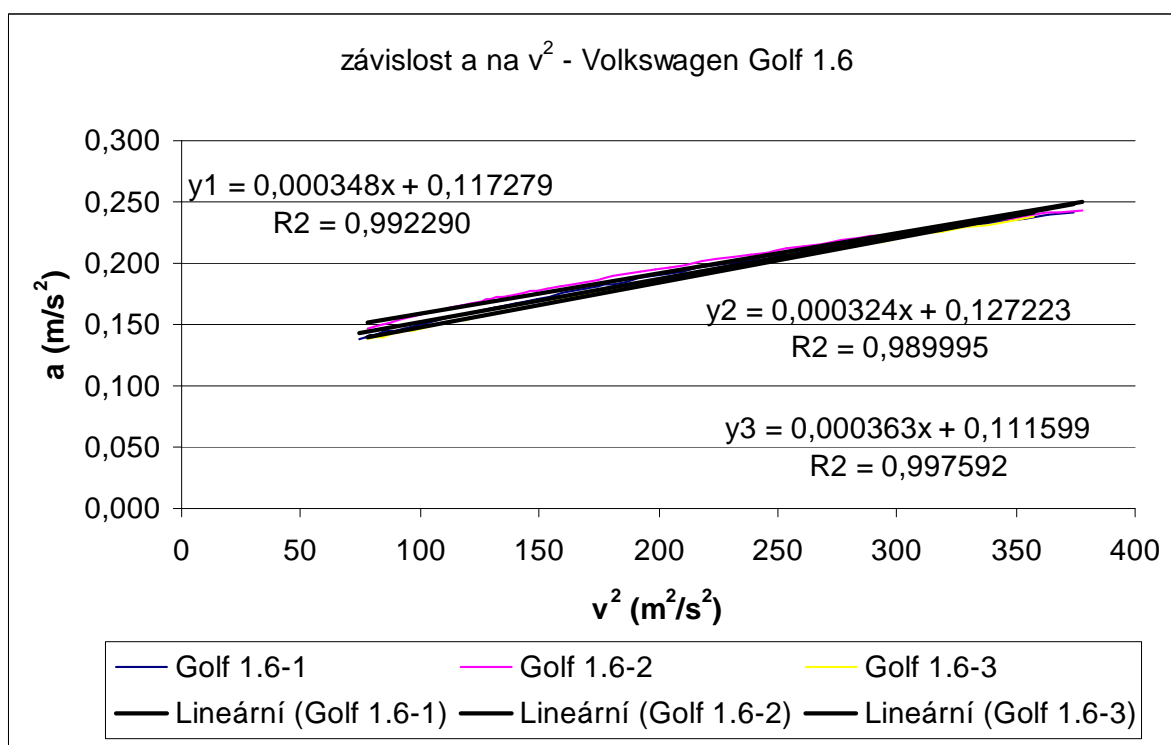
jízda	rovnice regrese	k1	k2	cx	f
1	$y = 0,000321x + 0,174479$	0,000321	0,174479	0,325	0,018
	R2 = 0,979469				
2	$y = 0,000302x + 0,164361$	0,000302	0,164361	0,306	0,017
	R2 = 0,985814				
3	$y = 0,000315x + 0,165753$	0,000315	0,165753	0,319	0,017
	R2 = 0,992704				
		průměrné hodnoty:		0,317	0,018

Škoda Fabia 1.9 TDi



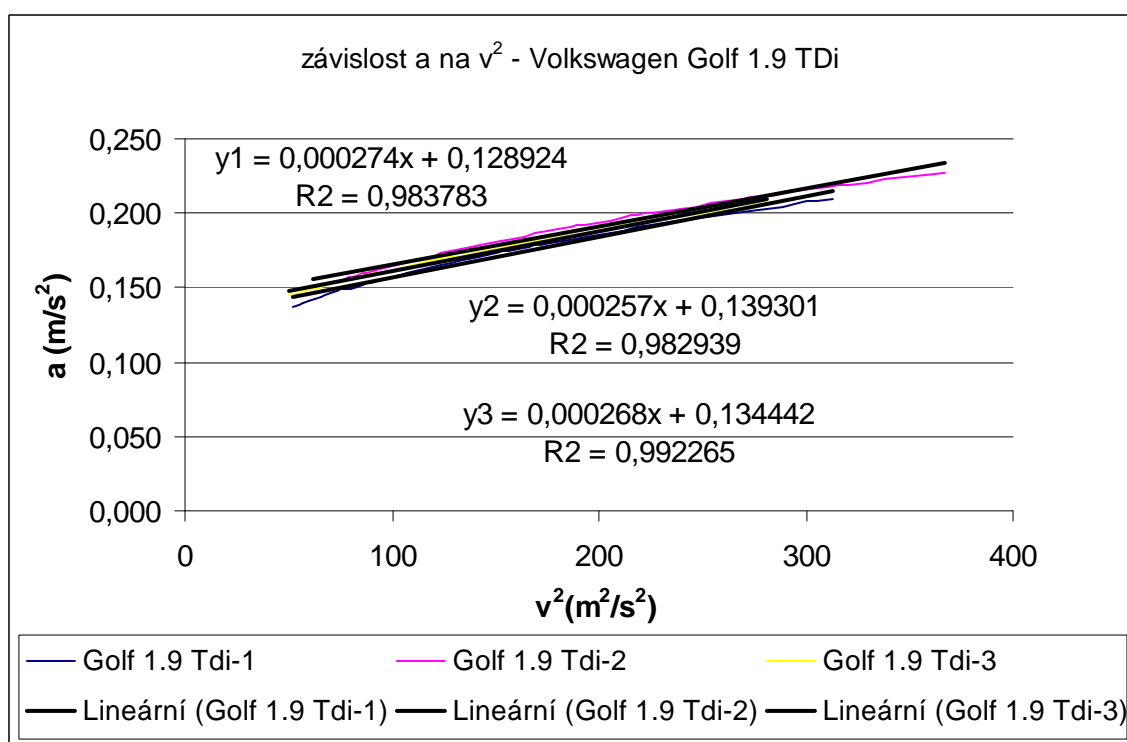
jízda	rovnice regrese	k1	k2	cx	f
1	$y_1 = 0,000249x + 0,131023$	0,000249	0,131002	0,281	0,014
	$R^2 = 0,989482$				
2	$y_2 = 0,000270x + 0,134105$	0,00027	0,134105	0,305	0,014
	$R^2 = 0,991535$				
3	$y_3 = 0,000249x + 0,130129$	0,000249	0,130129	0,281	0,014
	$R^2 = 0,974414$				
		průměrné hodnoty:		0,289	0,014

Volkswagen Golf IV 1.6 16v

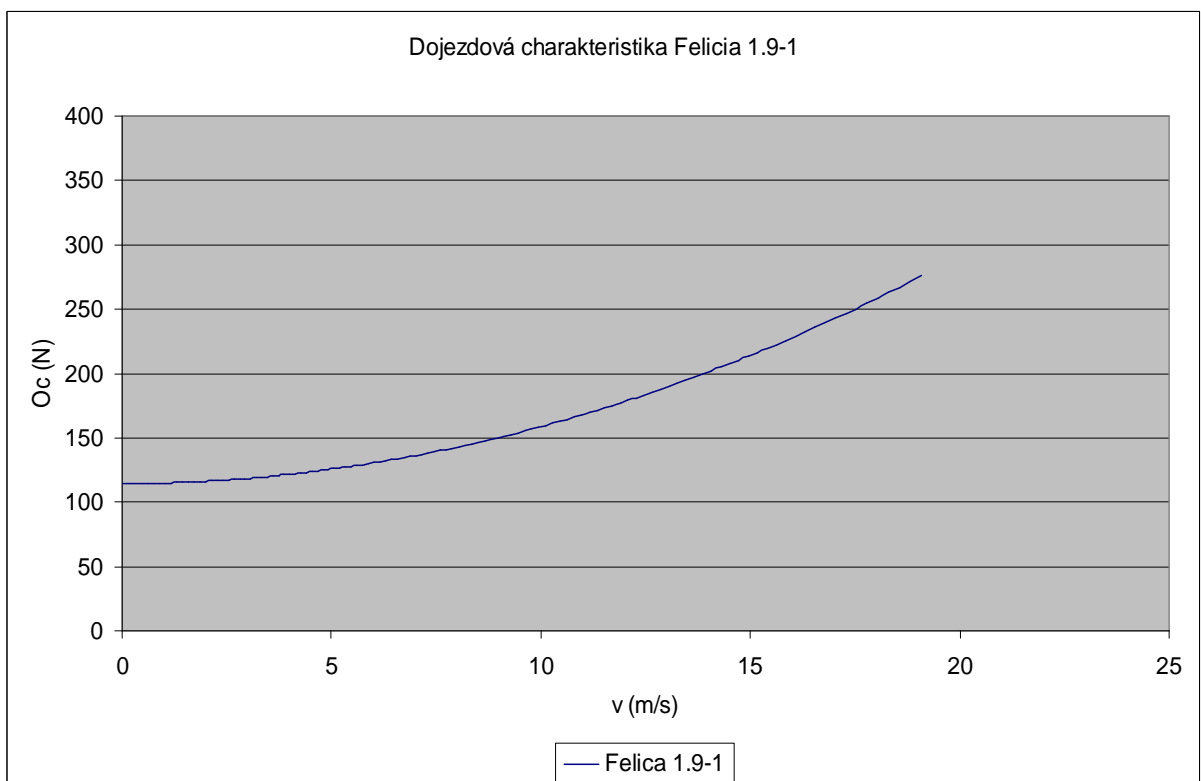
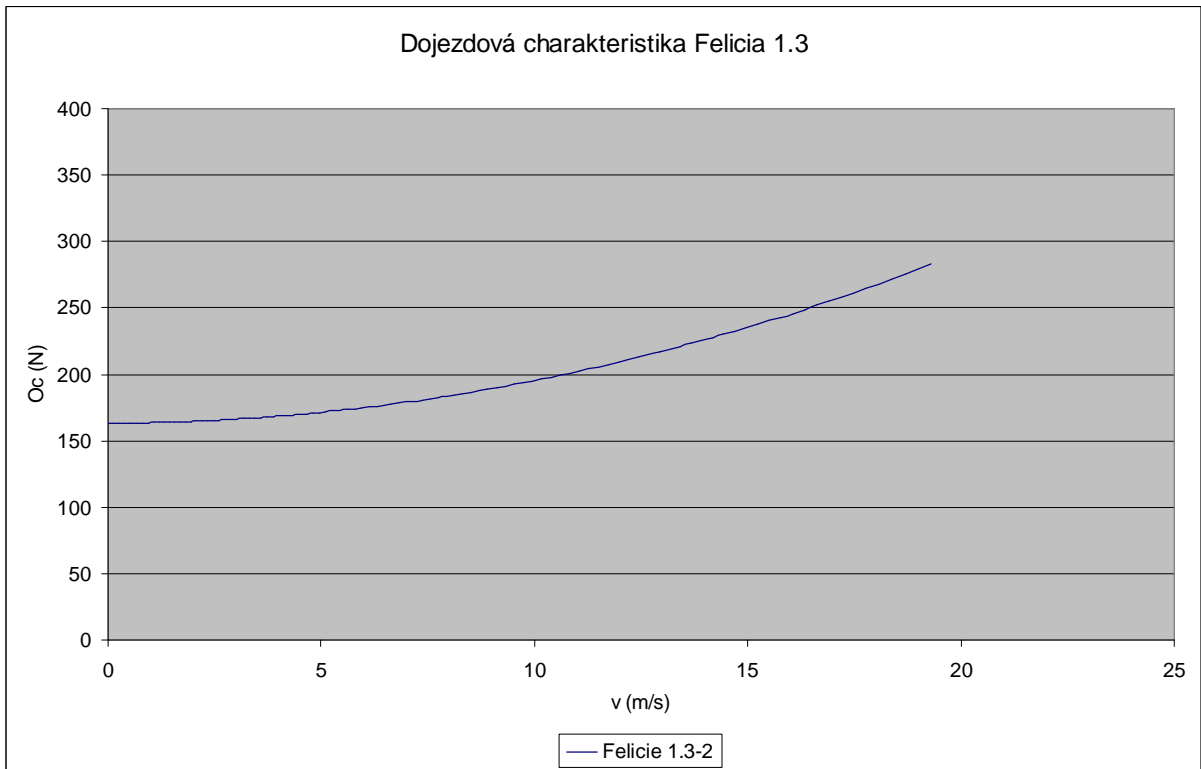


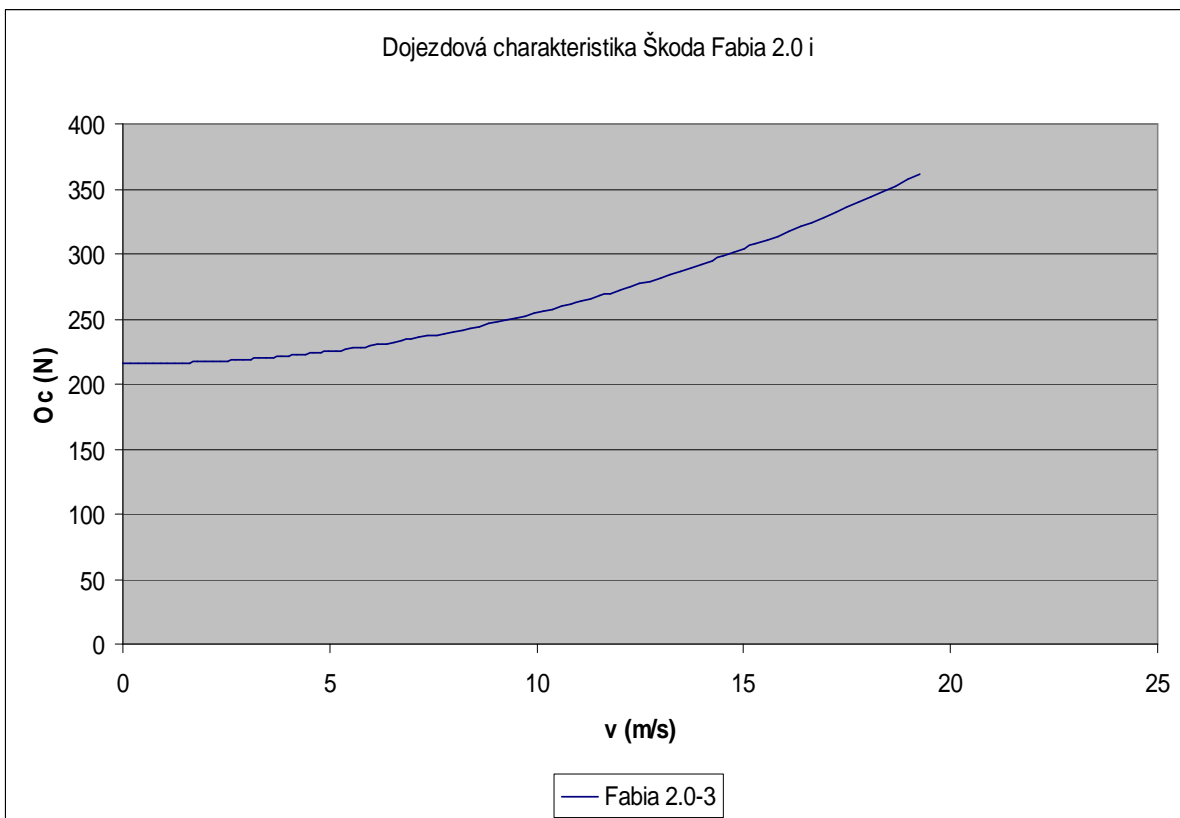
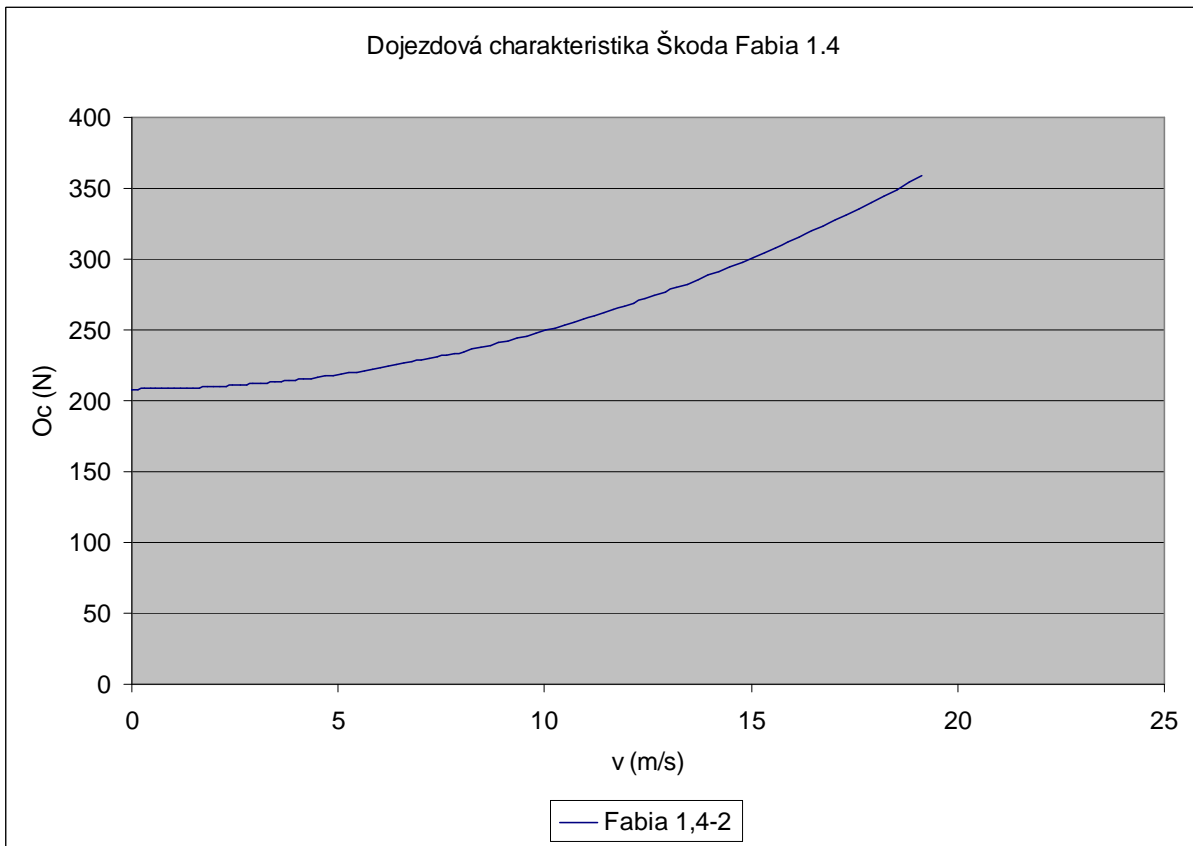
jízda	rovnice regrese	k1	k2	cx	f
1	$y_1 = 0,000348x + 0,117279$ $R^2 = 0,992290$	0,000348	0,117279	0,334	0,012
2	$y_2 = 0,000324x + 0,127223$ $R^2 = 0,989995$	0,000324	0,127223	0,311	0,013
3	$y_3 = 0,000363x + 0,111599$ $R^2 = 0,997592$	0,000363	0,111599	0,348	0,012
		průměrné hodnoty:		0,331	0,012

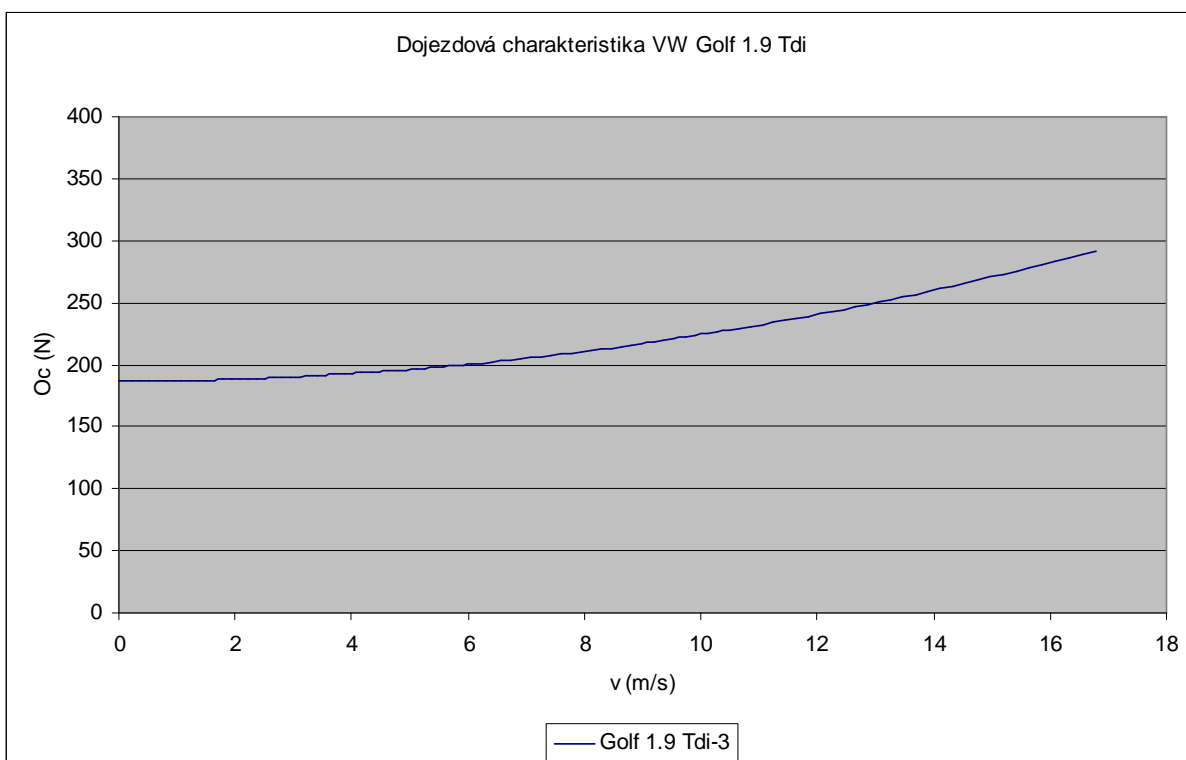
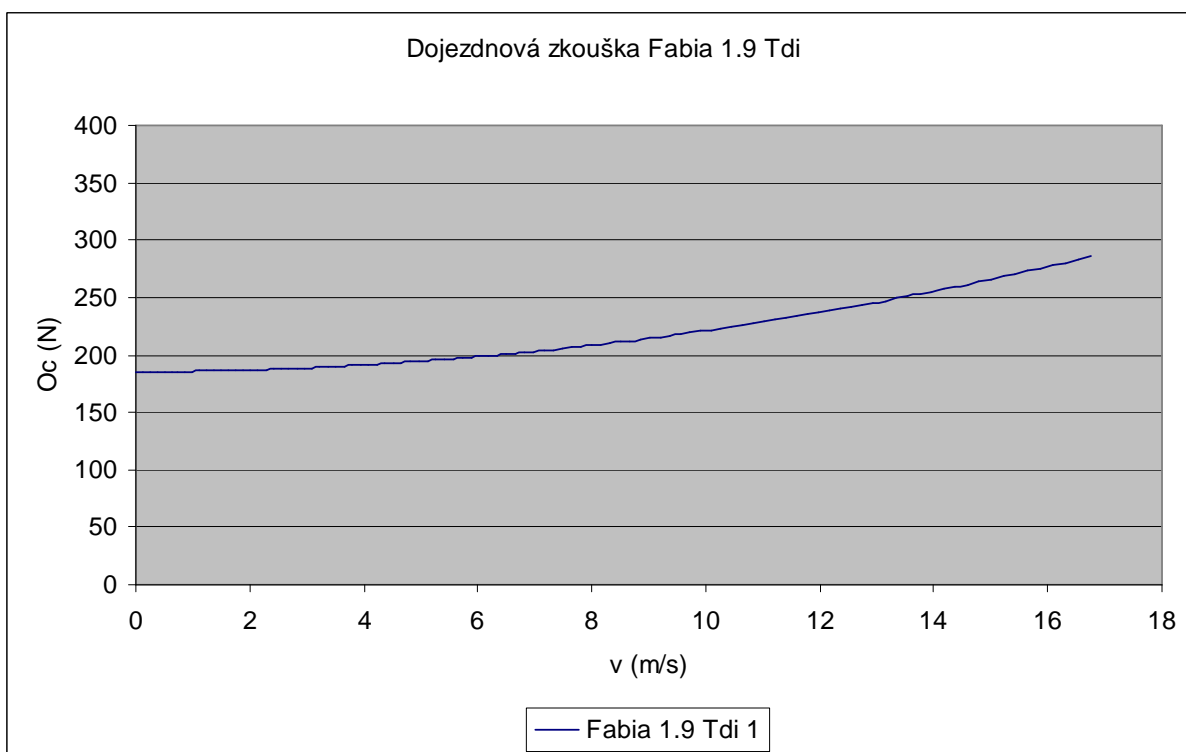
Volkswagen Golf IV 1.9 Tdi

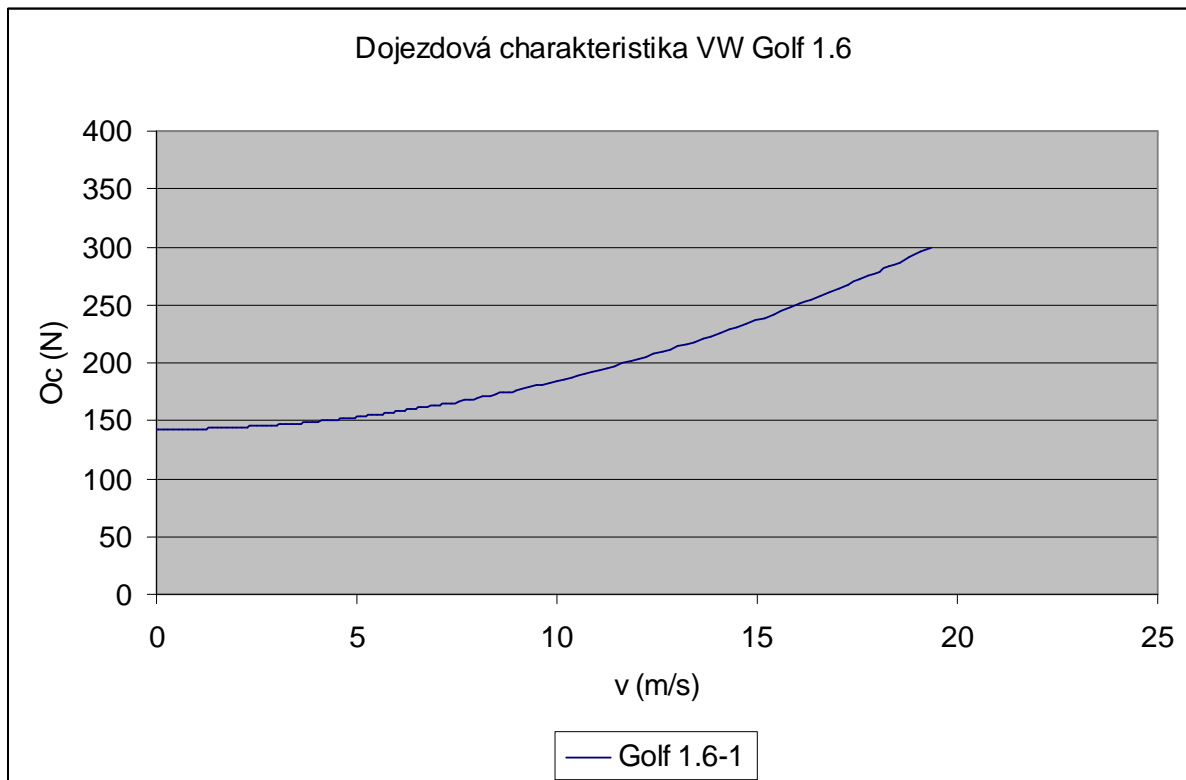


jízda	rovnice regrese	k1	k2	cx	f
1	$y_1 = 0,000274x + 0,128924$	0,000274	0,128924	0,307	0,014
	$R^2 = 0,983783$				
2	$y_2 = 0,000257x + 0,139301$	0,000257	0,139301	0,288	0,015
	$R^2 = 0,982939$				
3	$y_3 = 0,000268x + 0,134442$	0,000268	0,134442	0,301	0,014
	$R^2 = 0,992265$				
		průměrné hodnoty:		0,299	0,014

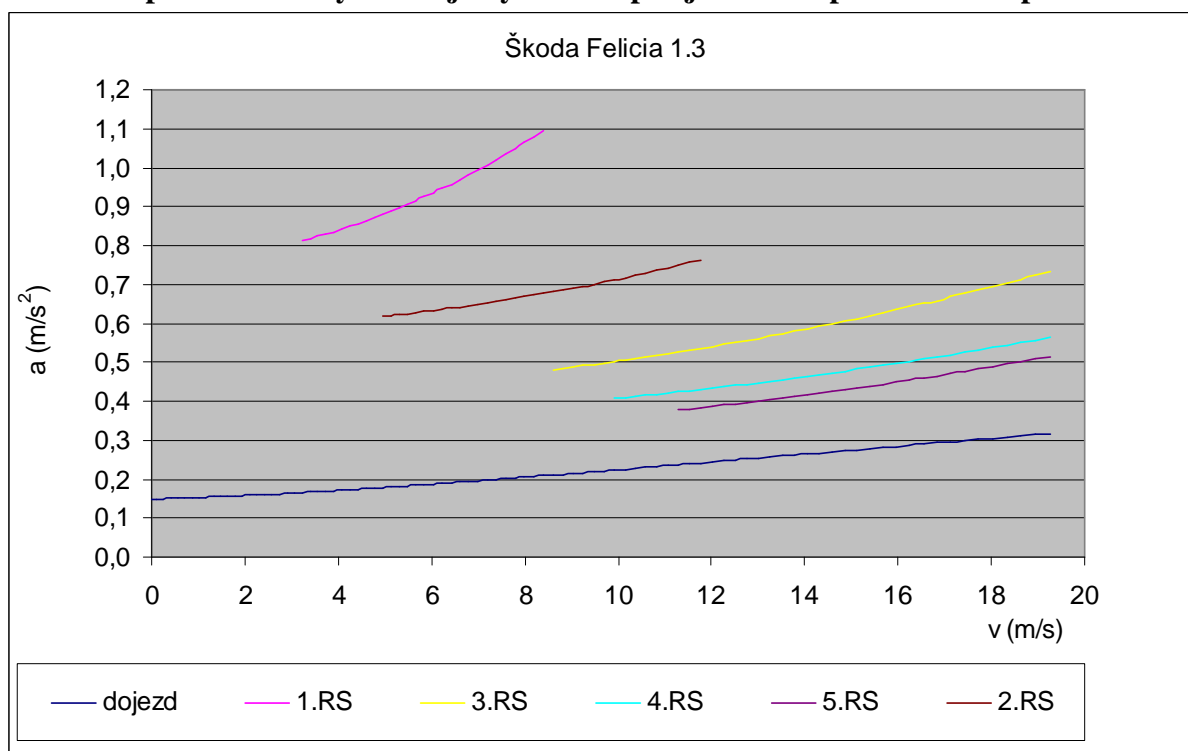




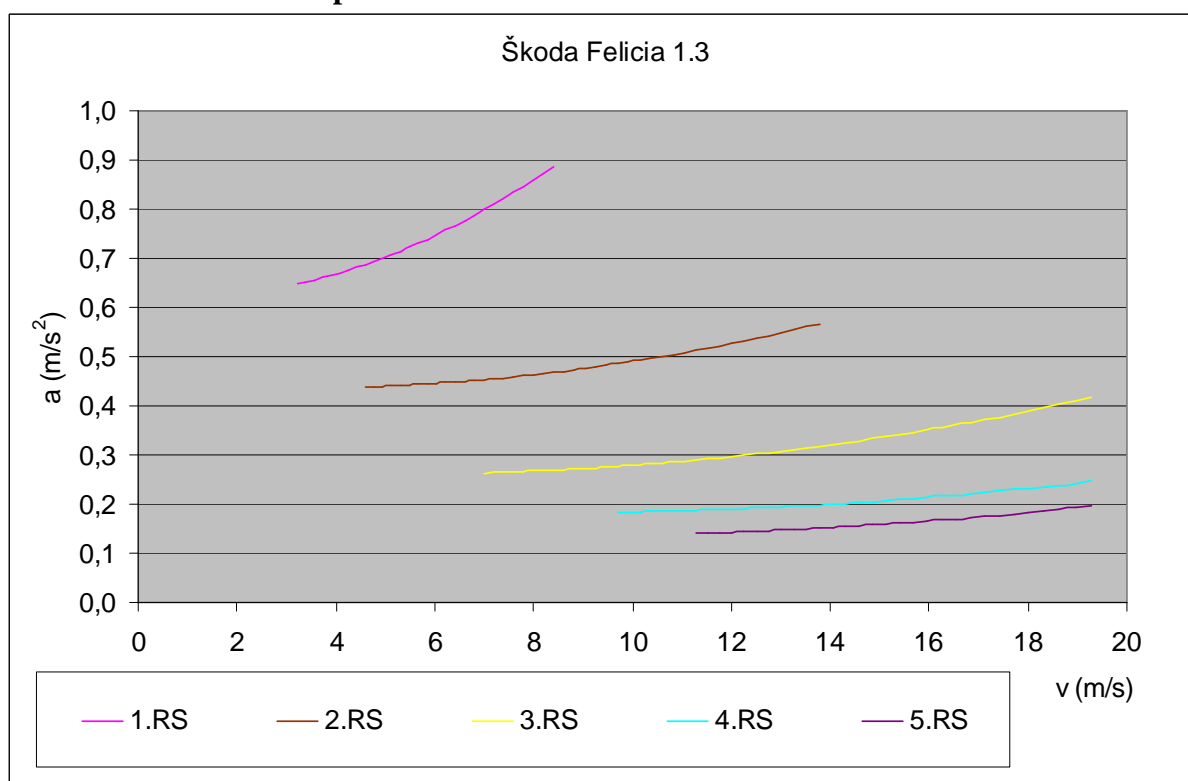




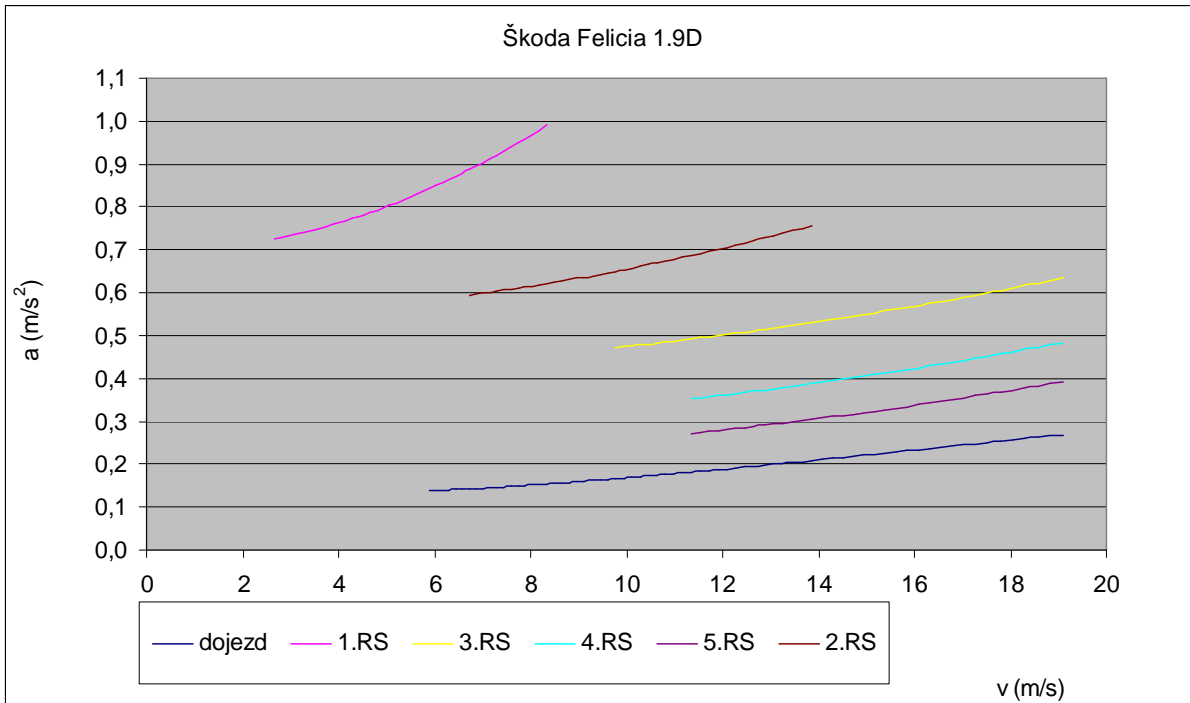
Závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla pro jednotlivé převodové stupně:



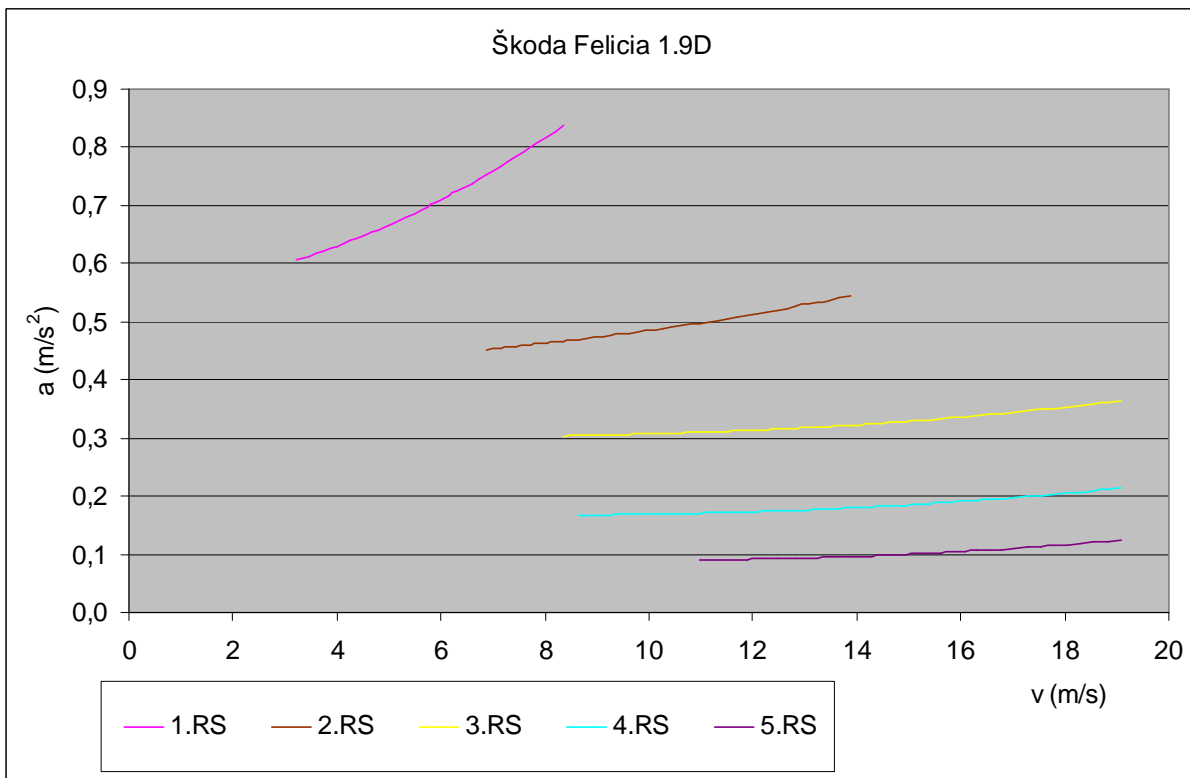
Závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla pro jednotlivé převodové stupně bez vlivu vzdušného a valivého odporu:



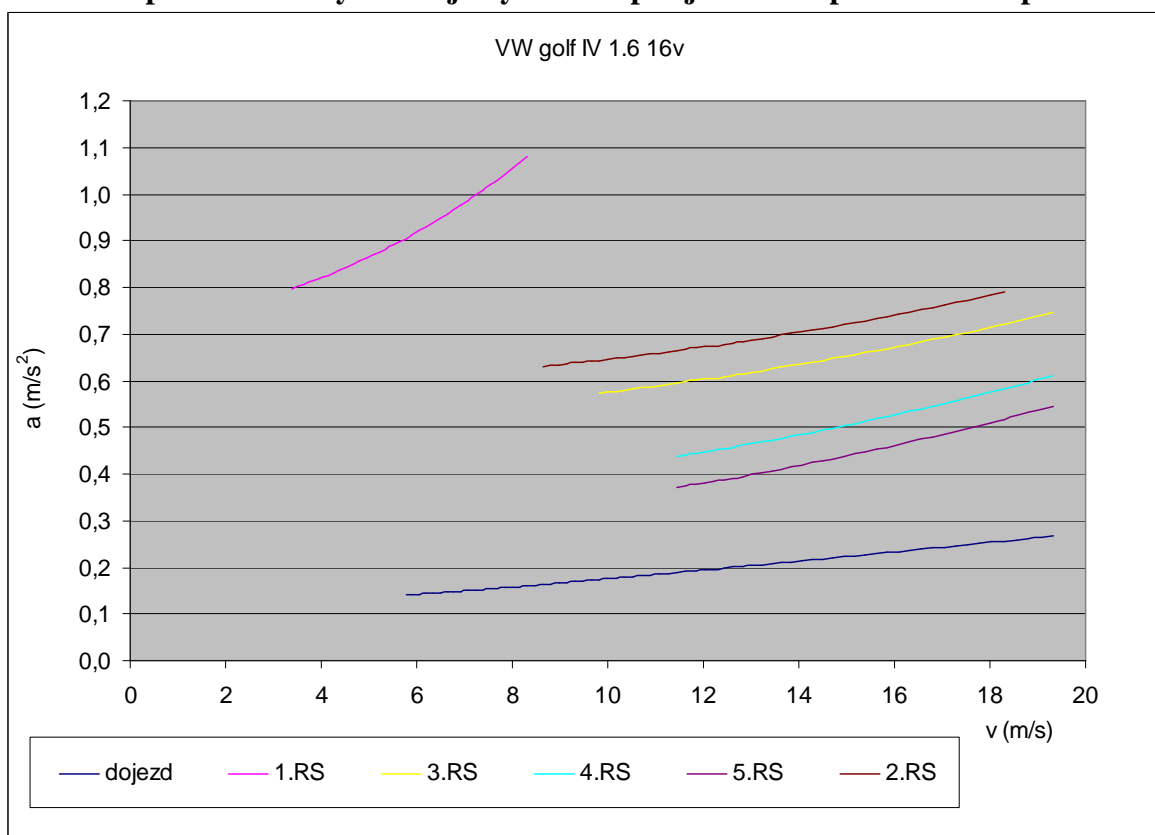
Závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla pro jednotlivé převodové stupně:



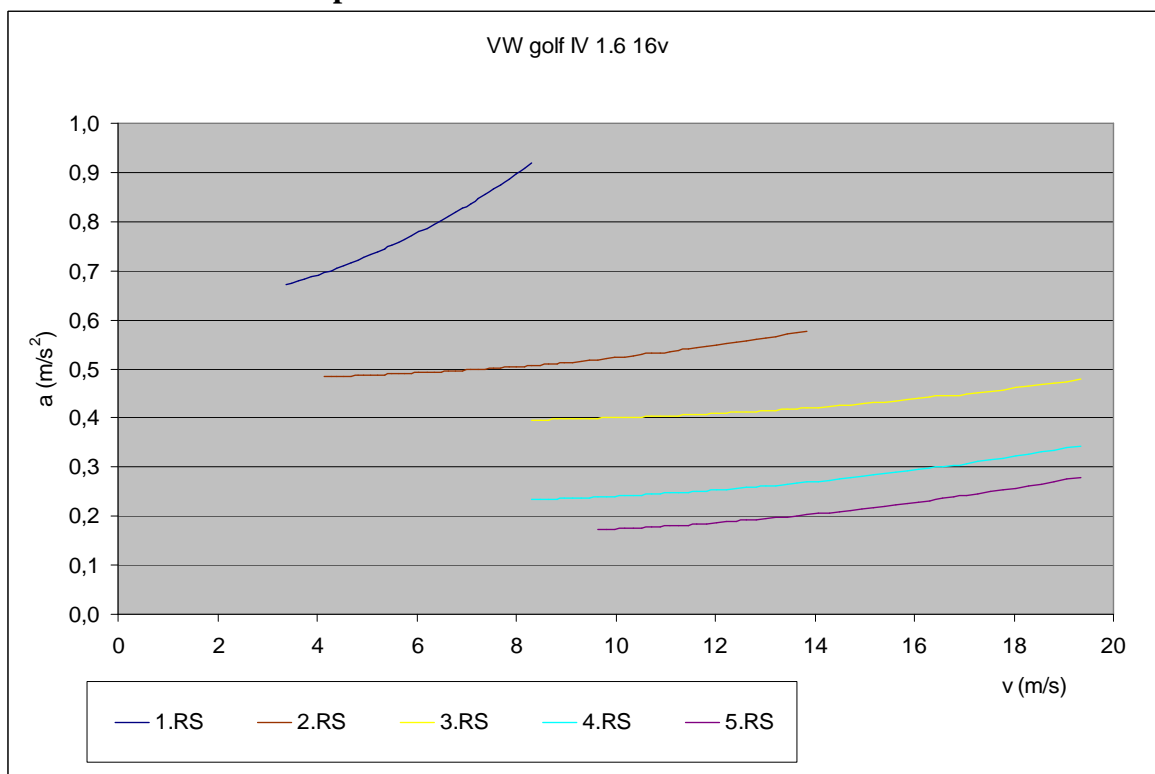
Závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla pro jednotlivé převodové stupně bez vlivu vzdušného a valivého odporu:



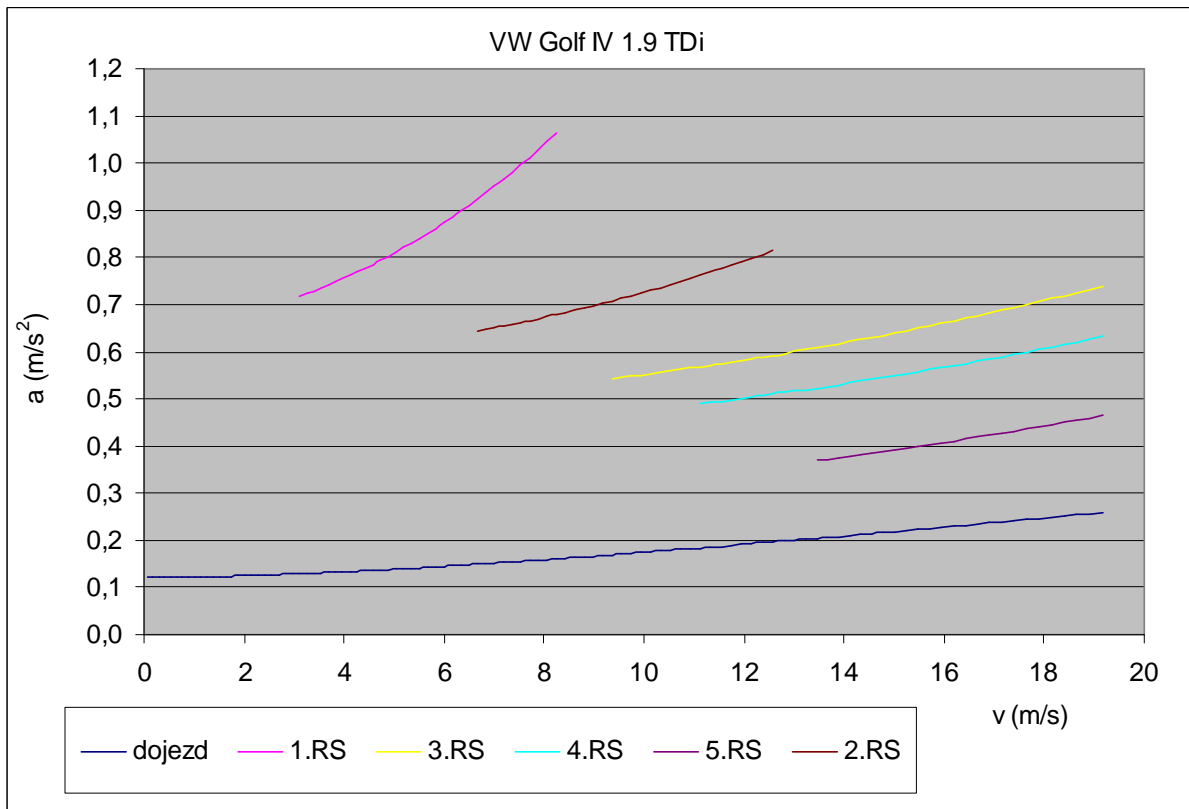
Závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla pro jednotlivé převodové stupně:



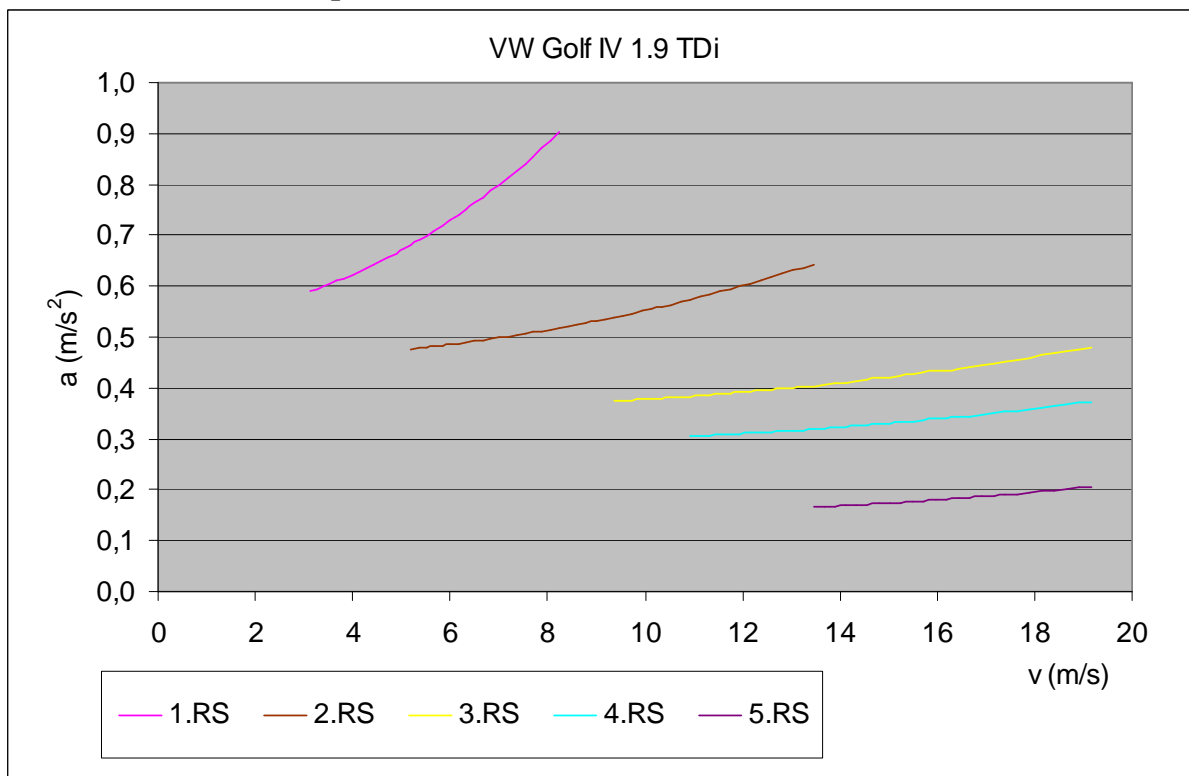
Závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla pro jednotlivé převodové stupně bez vlivu vzdušného a valivého odporu:



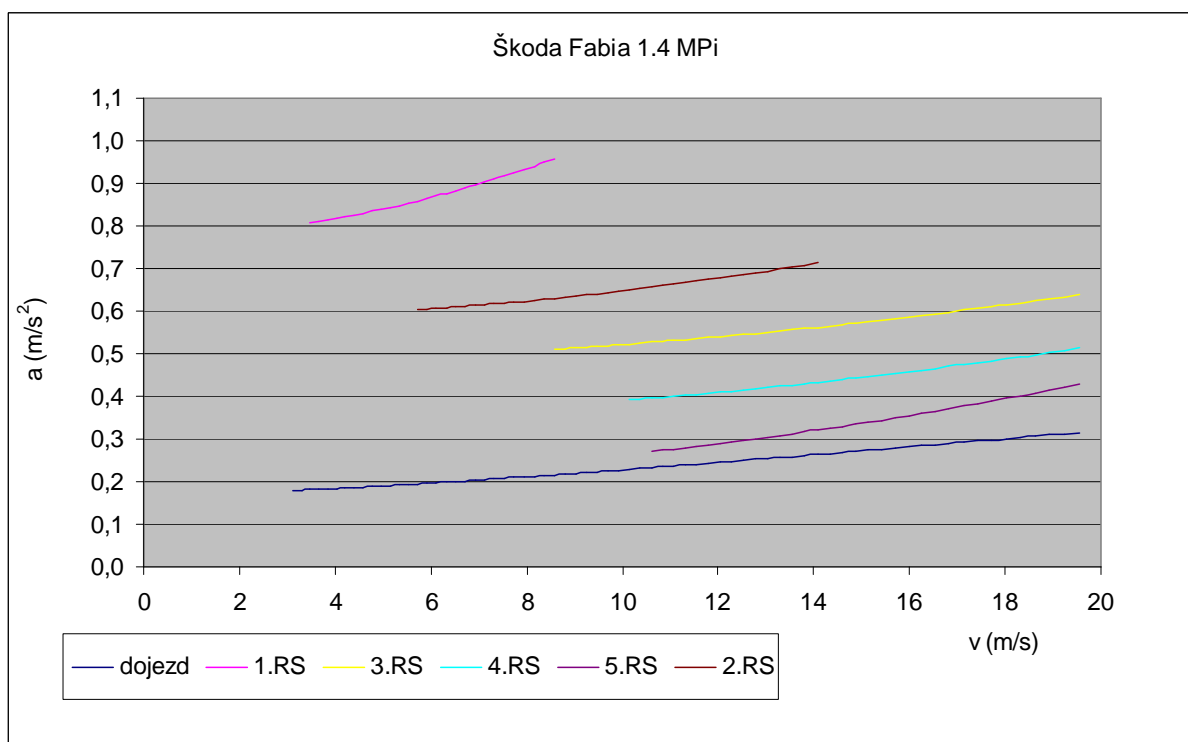
Závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla pro jednotlivé převodové stupně:



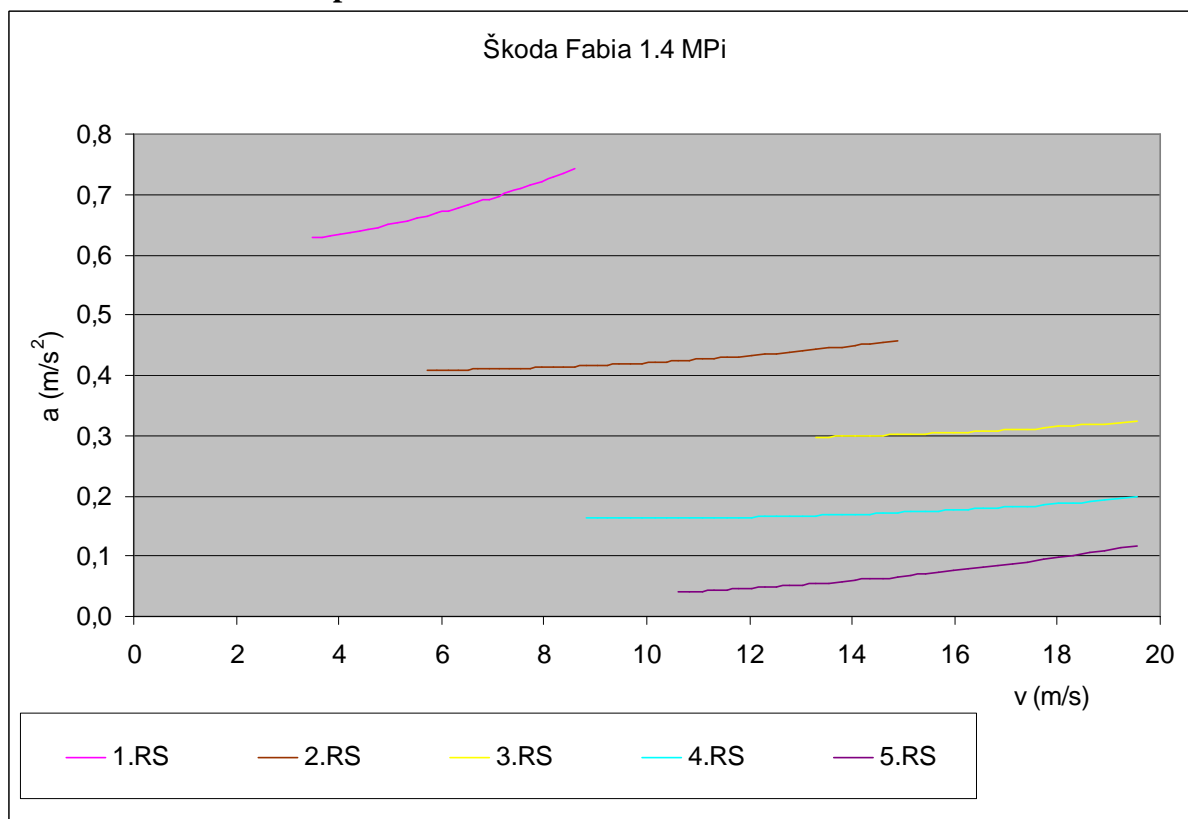
Závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla pro jednotlivé převodové stupně bez vlivu vzdušného a valivého odporu:



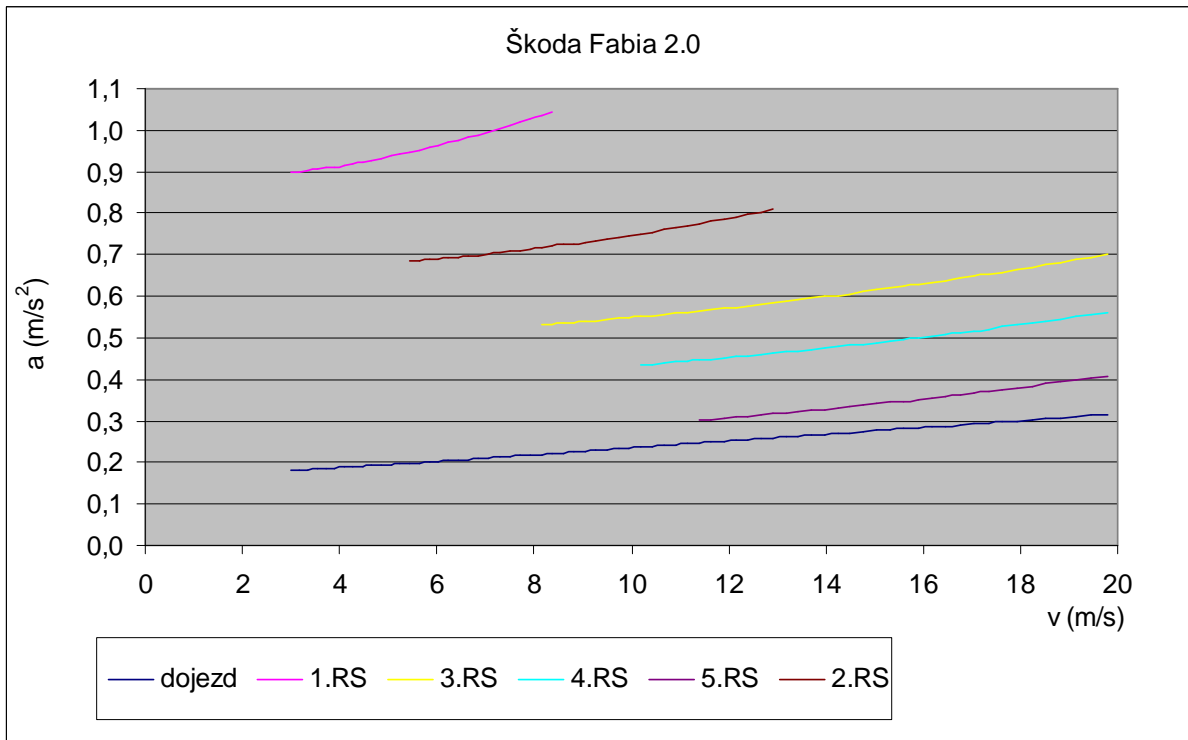
Závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla pro jednotlivé převodové stupně:



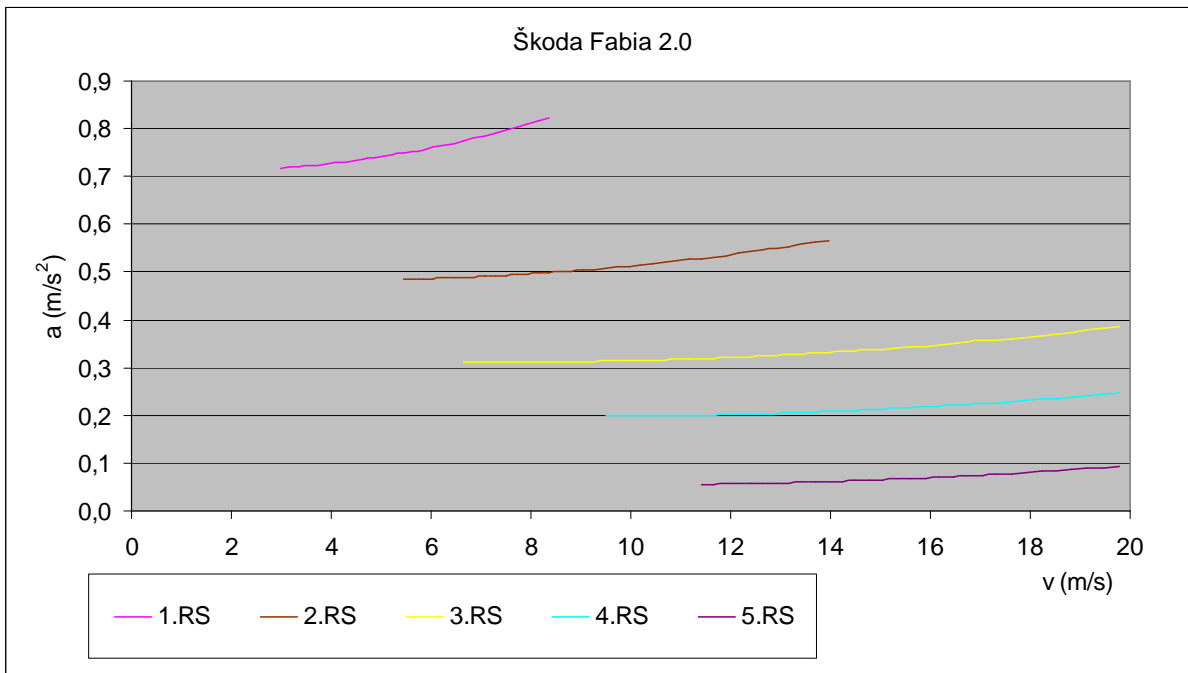
Závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla pro jednotlivé převodové stupně bez vlivu vzdušného a valivého odporu:



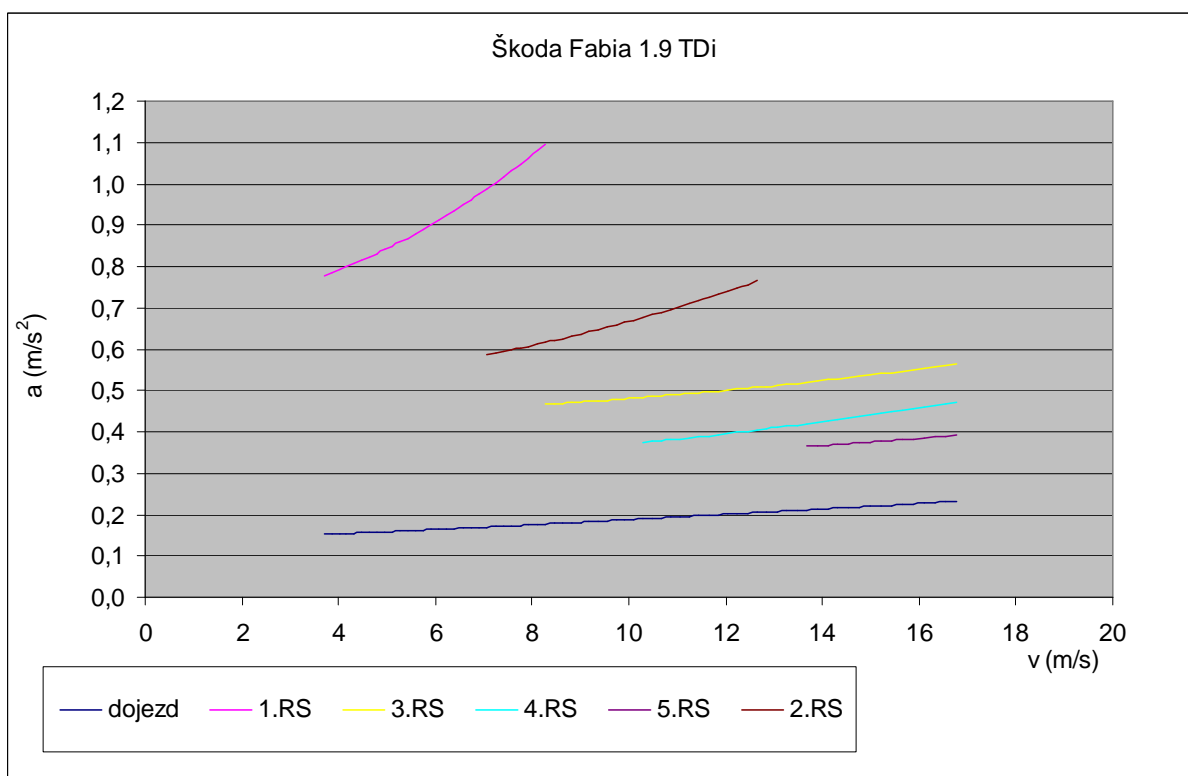
Závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla pro jednotlivé převodové stupně:



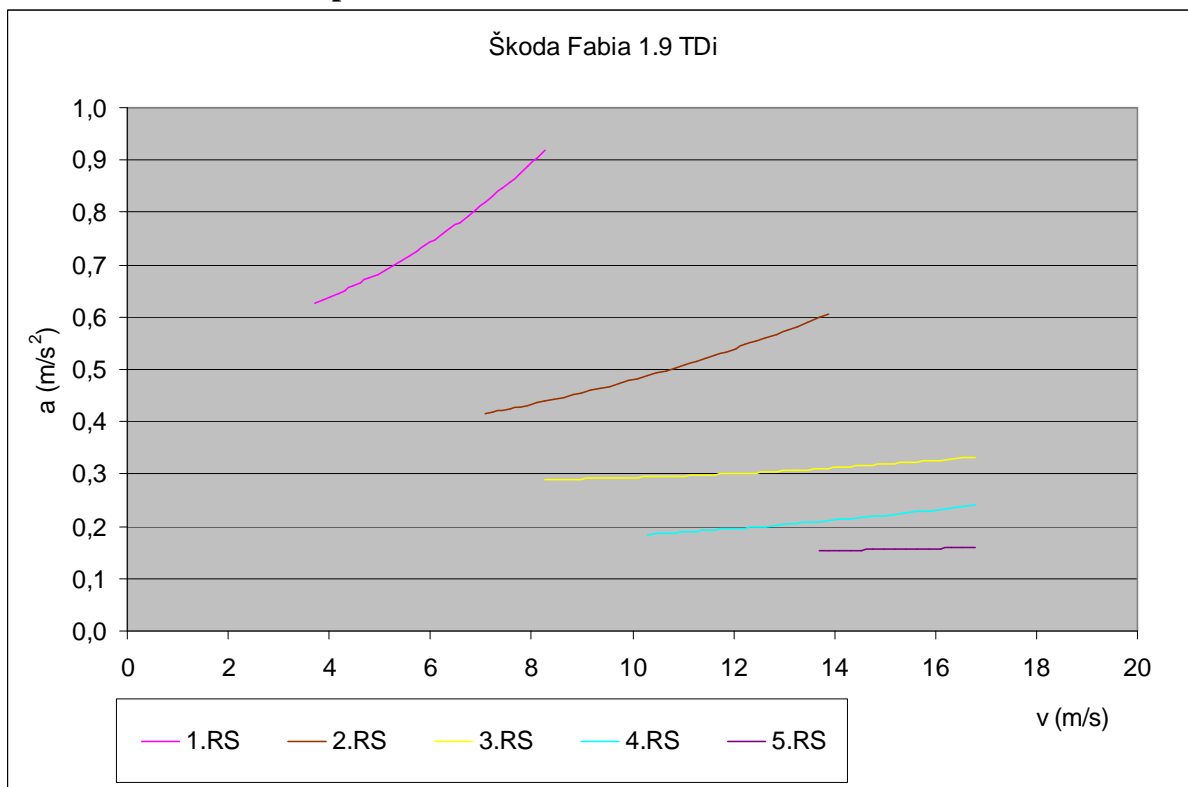
Závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla pro jednotlivé převodové stupně bez vlivu vzdušného a valivého odporu:



Závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla pro jednotlivé převodové stupně:

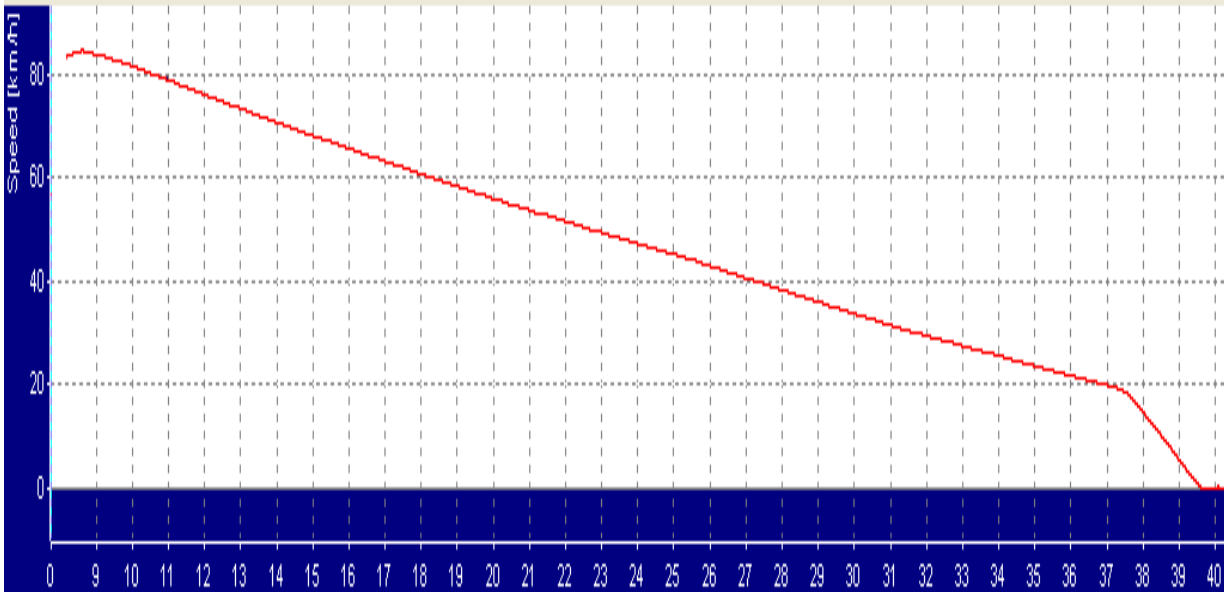


Závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla pro jednotlivé převodové stupně bez vlivu vzdušného a valivého odporu:

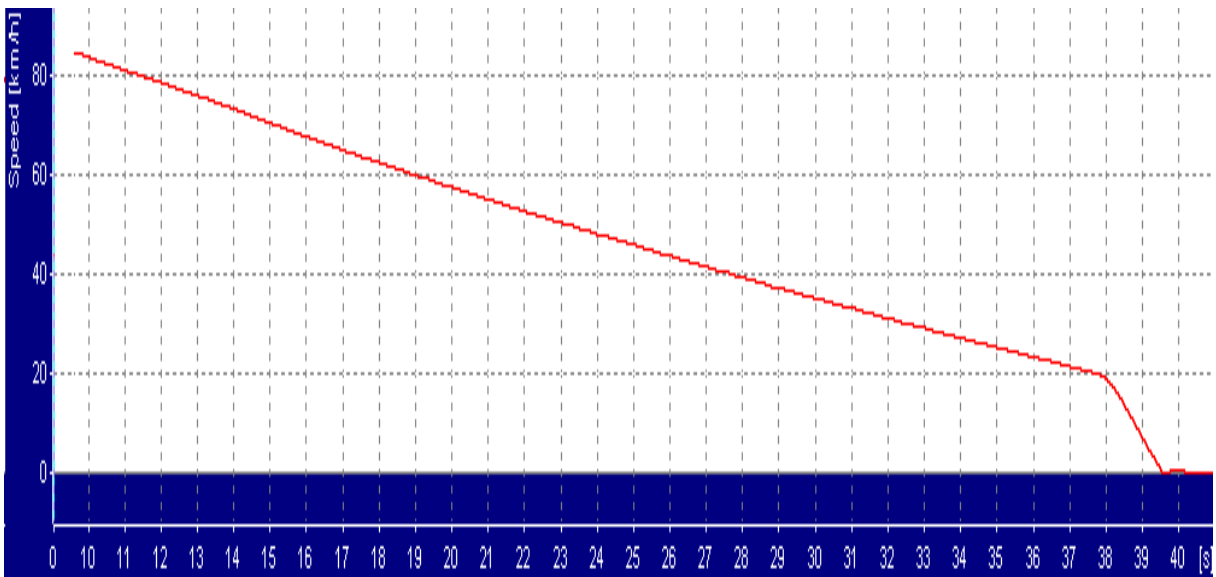


Záznam z XI-meteru:

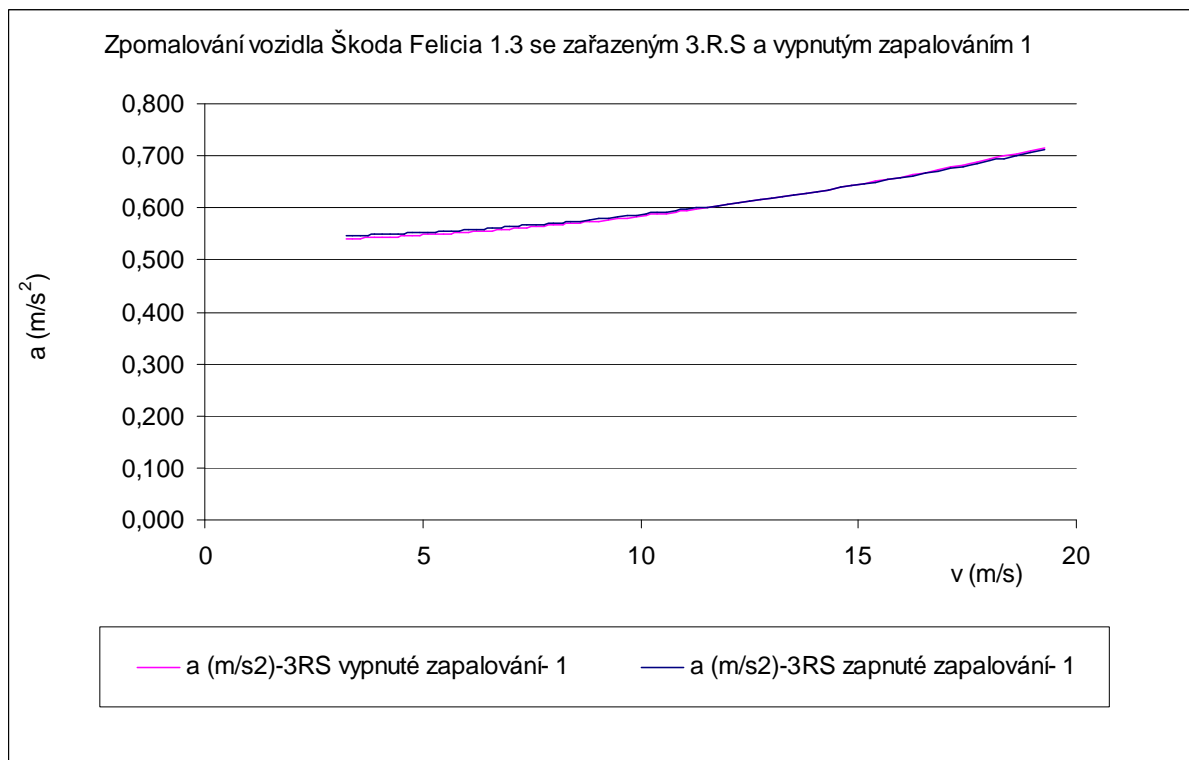
Škoda Felicia 1.3, 3 R.S – zapnuté zapalování 1, závislost rychlosti na čase



Škoda Felicia 1.3, 3 R. S – vypnuté zapalování 1, závislost rychlosti na čase

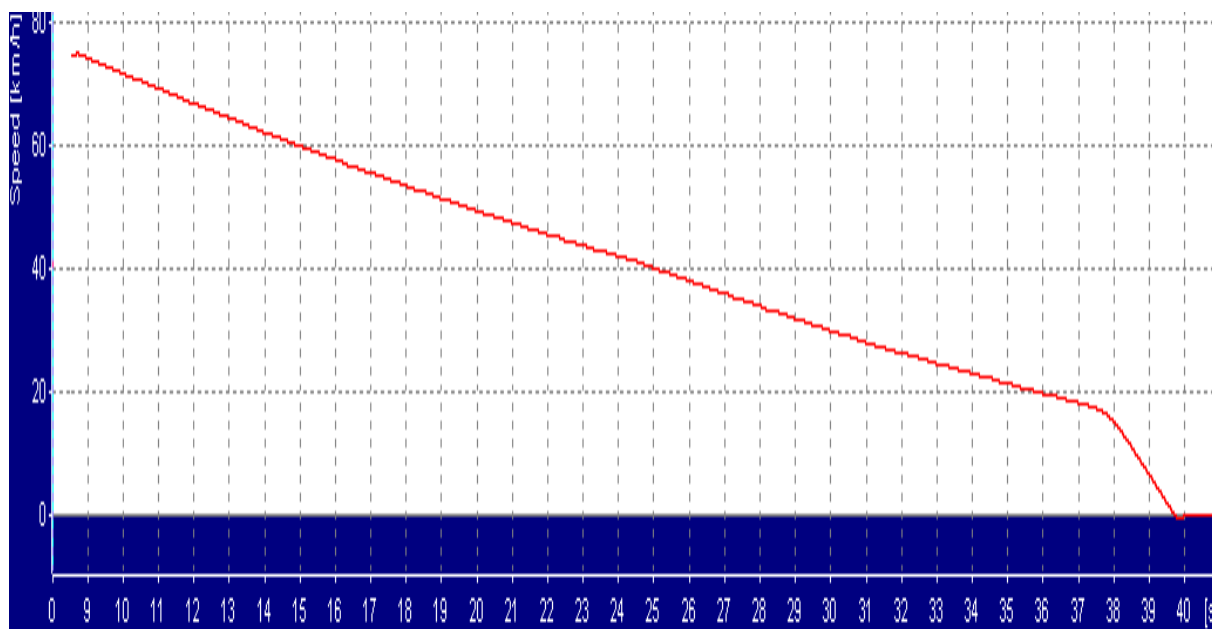


Graficky znázorněná závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla:

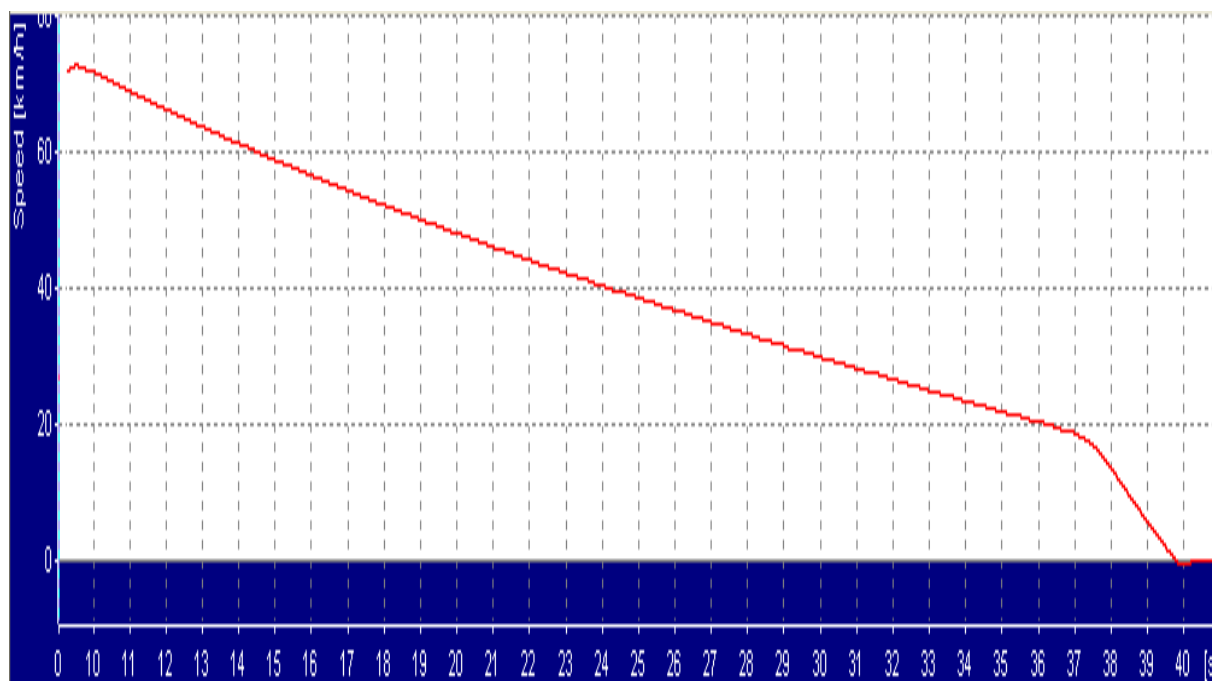


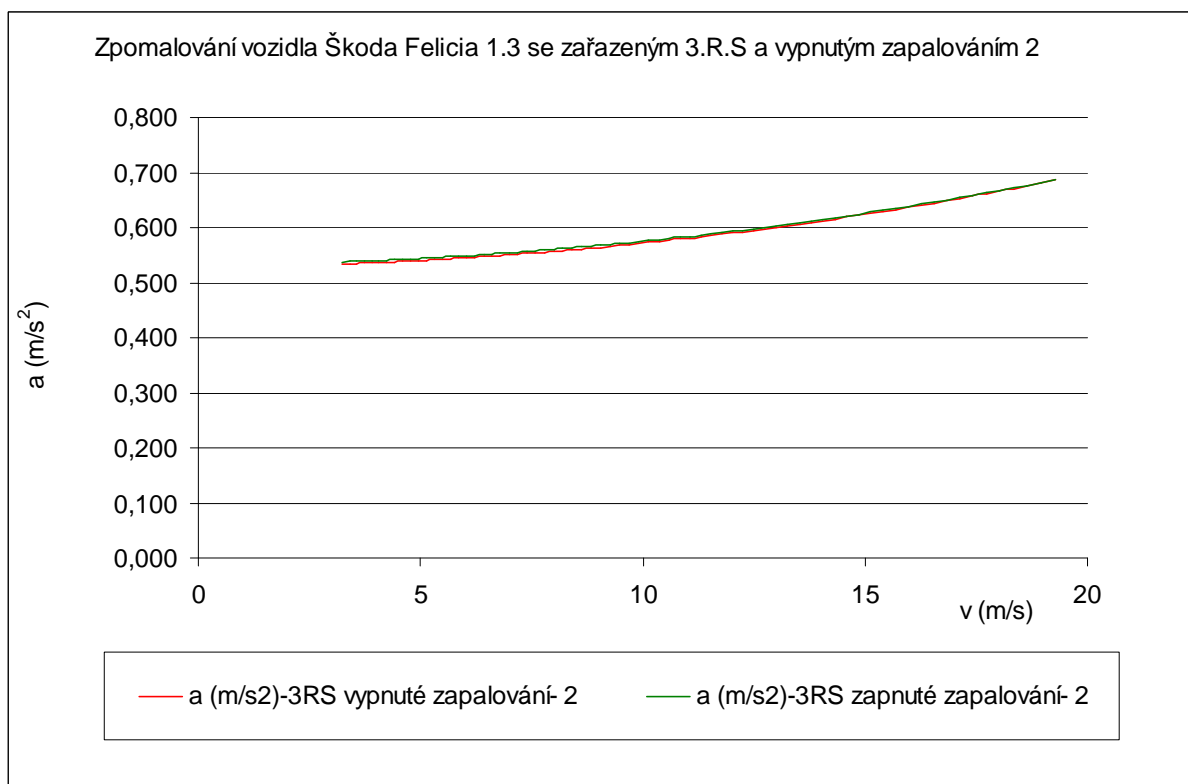
Záznam z XI-meteru:

Škoda Felicia 1.3, 3 R.S – zapnuté zapalování 2, závislost rychlosti na čase



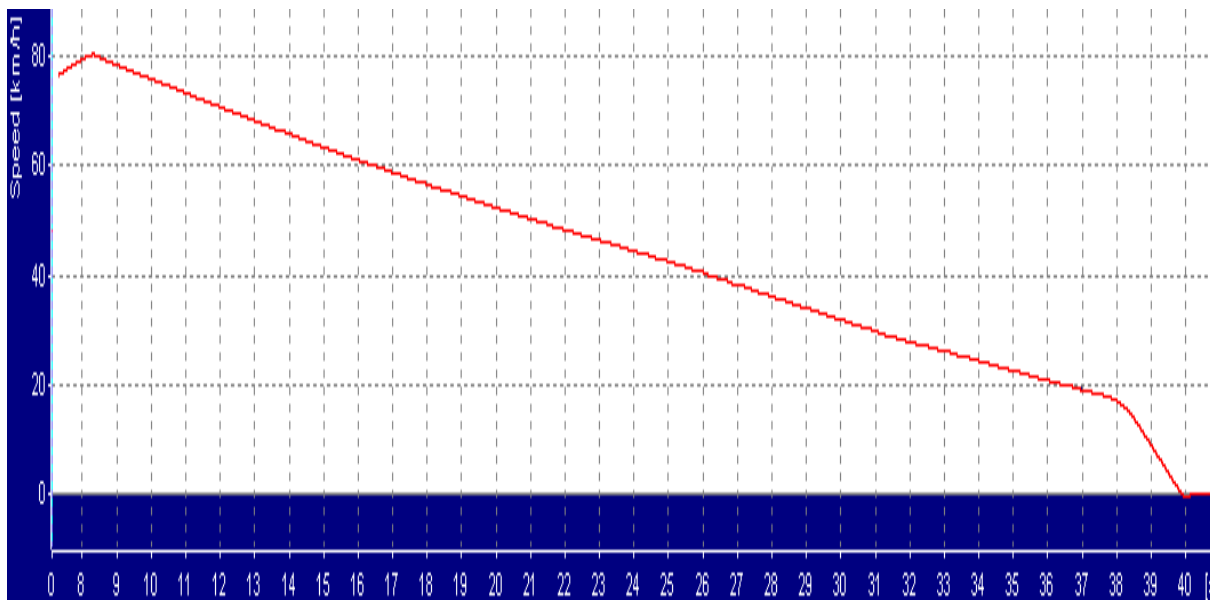
Škoda Felicia 1.3, 3 R.S – vypnuté zapalování 2, závislost rychlosti na čase



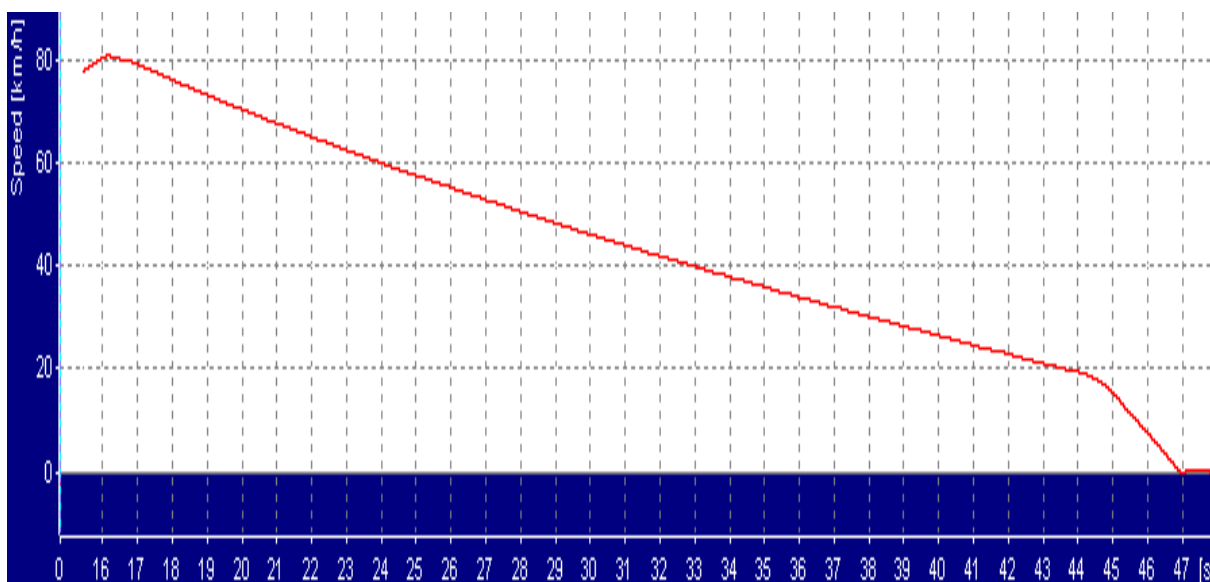
Graficky znázorněná závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla:

Záznam z XI-meteru:

Škoda Felicia 1.3, 3 R.S – zapnuté zapalování 3, závislost rychlosti na čase



Škoda Felicia 1.3, 3 R.S – vypnuté zapalování 3, závislost rychlosti na čase



Graficky znázorněná závislost zpomalení na rychlosti jízdy vozidla:

