

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Vliv vozidlového odporu na trakční výpočty

Jiří Navrátil

Bakalářská práce
2011

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří NAVRÁTIL**
Osobní číslo: **D10627**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Kolejová vozidla**
Název tématu: **Vliv vozidlového odporu na trakční výpočty**
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

Provést teoretický rozbor jízdních odporů se zaměřením na odpory vozidlové. Na reprezentativních příkladech vlakových souprav v kombinaci s různými parametry tratě porovnat vliv jednotlivých jízdních odporů na velikost celkového jízdního odporu a dále porovnat vliv vozidlových odporů na délku jízdní doby a množství spotřebované energie vlaku. Vypracovat:

1. Klasifikaci jízdních odporů, teoretický rozbor vozidlových odporů.
2. Stanovení celkového vozidlového odporu a jeho vyjádření.
3. Rozbor vlivu jednotlivých jízdních odporů na velikost celkového jízdního odporu vlaku.
4. Rozbor vlivu vozidlových odporů na délku jízdní doby a množství spotřebované energie vlaku.

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího BP
Rozsah pracovní zprávy: 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- [1] HERZÁŇ, F.; HABARDA, D.; MRKVIČKA, J.: Mechanika dopravy koľajových vozidel, NDS, Praha, 1989.
- [2] Trakční výpočty, ČSD V7, NDS, Praha, 1982.
- [3] ŽM - Atlas vozidel, 20032005.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Aleš Hába, Ph.D.**
Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání bakalářské práce: **25. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2011**

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.

Ing. Ivo Šepčík, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2011

Prohlašuji:

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

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 ods.1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou, nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne vyžadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Náměšti na Hané dne 24. 5. 2011.

Jiří Navrátil

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své práce Ing. Aleši Hábovi Ph.D. za pomoc a rady při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat svým blízkým za podporu při tvorbě této práce.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá vlivem vozidlového odporu na trakční výpočty. Tento vliv je porovnáván na různých kategoriích osobních i nákladních vlaků s různými hnacími vozidly během jízdy po regionálních a celostátních tratích.

Klíčová slova

Vozidlový odpor, jízdní doba, spotřeba trakční energie.

Title

Effect of vehicle resistance to traction calculation

Annotation

The Bachelor's degree thesis is focused on the effect of vehicle resistance to traction calculation. This effect is compared on different kind of passenger and freight trains with different engines during run on regional and national routes.

Keywords

Vehicle resistance, running time, consumption of traction energy,

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -7-
---	-----------------------------------	------------

Obsah

Seznam použitých zkratk	9
1 Úvod	11
2 Klasifikace jízdních odporů	12
2.1 Vozidlový odpor	12
2.1.1 Odpor z valení	12
2.1.2 Odpor v ložiscích	14
2.1.3 Odpor vnějšího prostředí	15
2.1.4 Vztahy pro výpočet měrného vozidlového odporu	15
2.2 Traťové odpory	16
2.2.1 Odpor sklonu	16
2.2.2 Odpor z jízdy obloukem	17
2.2.3 Odpor z jízdy tunelem	18
2.2.4 Náhradní sklon	18
3 Určení trakčních vlastností vozidel	19
3.1 Měření vozidlového odporu	19
3.1.1 Dynamometrická metoda	19
3.1.2 Metoda volného výběhu	19
3.2 Měření součinitele rotačních hmot	20
4 Určení charakteristik vozidel a tratí	21
4.1 Určení součinitele vozidlového odporu hnacích vozidel	21
4.2 Součinitel vozidlového odporu dopravovaných vozidel	23
4.2.1 Rovnice měrného vozidlového odporu osobních vozů	23
4.2.2 Rovnice měrného vozidlového odporu nákladních vozů	24
4.3 Reprezentativní soupravy vlaků	24
4.3.1 Soupravy osobních vlaků	24
4.3.2 Soupravy nákladních vlaků	27
4.4 Stanovení tratí k rozboru jízdních odporů	27
4.5 Trakční charakteristiky vozidel	28
4.6 Princip výpočtu jízdních dob	32
4.7 Vztahy pro výpočet spotřeby trakční energie	33
4.8 Určení sklonových a směrových poměrů tratí	33

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -8-
---	-----------------------------------	------------

5	Rozbor jednotlivých složek jízdního odporu	35
5.1	Vozidla nezávislé trakce	35
5.1.1	Osobní vlaky	35
5.1.2	Rychlíky a spěšné vlaky	38
5.2	Vozidla závislé trakce	40
5.2.1	Osobní vlaky závislé trakce	40
5.2.2	Vlaky dálkové osobní dopravy závislé trakce.....	43
5.3	Soupravy nákladních vlaků závislé trakce	46
6	Vliv vozidlového odporu na výpočet jízdních dob	49
6.1	Vozidla nezávislé trakce	49
6.1.1	Osobní vlaky	49
6.1.2	Spěšné vlaky a rychlíky nezávislé trakce	52
6.2	Vozidla závislé trakce	55
6.2.1	Osobní vlaky závislé trakce	55
6.2.2	Vlaky dálkové dopravy závislé trakce	59
6.2.3	Nákladní vlaky závislé trakce	63
7	Závěr	70
8	Seznam použité literatury	72

Seznam použitých zkratk

Seznam používaných veličin v této práci je uveden v Tab. 1.

Tab. 1 – Seznam používaných veličin

Označení	Význam zkratky	Jednotka
B_o	Síla zatěžující ložisko	[N]
B_{vl}	Brzdná síla	[N]
c_x	Tvarový součinitel	-
d	Průměr kola	[mm]
e	Rameno valivého odporu	[mm]
E	Energie	[kw.h]
f_{ξ}	Součinitel tření v ložisku	-
F_o	Síla na obvodu kola	[N]
G	Tíha	[N]
G_N	Reakce podložky na tíhu, normálová složka tíhy	[N]
g	Tíhové zrychlení	[ms ⁻²]
i	Převod	-
l	Dráha	[m]
m_c	Hmotnost cestujícího	[kg]
M_d	Hmotnost dopravovaného vozidla	[t]
M_h	Hmotnost hnacího vozidla	[t]
M_l	Ložná hmotnost	[t]
M_n	Hmotnost nápravy	[t]
M_R	Redukovaná hmotnost vlaku	[t]
M_{vl}	Hmotnost vlaku	[t]
n	Počet	-
n_d	Otáčky dvojkolí	[min ⁻¹]
o_d	Měrný odpor dopravovaných vozidel	[N.kN ⁻¹]
O_d	Odpor dopravovaných vozidel	[N]
o_h	Měrný odpor hnacího vozidla	[N.kN ⁻¹]
O_h	Odpor hnacího vozidla	[N]
o_j	Měrný odpor jednotky	[N.kN ⁻¹]
o_R	Měrný odpor z jízdy obloukem	[N.kN ⁻¹]
o_s	Měrný odpor z jízdy ve sklonu	[N.kN ⁻¹]
O_s	Odpor z jízdy ve sklonu	[N]

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -10-
---	-----------------------------------	-------------

o_t	Měrný traťový odpor	$[\text{N.kN}^{-1}]$
r_k	Poloměr kola	$[\text{mm}]$
$r_{\check{c}}$	Poloměr čepu nápravy	$[\text{mm}]$
R	Poloměr oblouku	$[\text{m}]$
s	Sklon	$[\text{‰}]$
S	Příčný průřez vozidla	$[\text{m}^2]$
s_n	Náhradní sklon	$[\text{‰}]$
t	Čas	$[\text{s}]$
v	Rychlost	$[\text{m.s}^{-1}]$
V	Rychlost	$[\text{km.h}^{-1}]$
\ddot{x}	Zrychlení	$[\text{m.s}^{-2}]$
ρ_D	Součinitel rotačních hmot dopravovaného vozidla	-
ρ_H	Součinitel rotačních hmot hnacího vozidla	-
ρ_{vl}	Součinitel rotačních hmot vlaku	-
ρ_{vzd}	Hustota vzduchu	$[\text{kg.m}^{-3}]$

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -11-
---	-----------------------------------	-------------

1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je posoudit vliv vozidlového odporu na trakční výpočty. Posouzení tohoto vlivu bude provedeno mezi vybranými soupravami vlaků provozovaných v osobní a nákladní dopravě.

První část této práce se bude zabývat teoretickým popisem jednotlivých složek jízdního odporu, určením hodnoty vozidlových odporů vybraných hnacích vozidel a zpracováním údajů vybraných tratí, použitých při výpočtech jízdních dob a spotřeby trakční energie. V následující části bude proveden rozbor vlivu jednotlivých složek jízdního odporu a posouzení jejich vlivu na spotřebu trakční energie. V závěru této práce se budu zabývat vlivem vozidlového odporu na velikosti jízdních dob vybraných souprav vlaků při jízdě po tratích zpracovaných v předchozí části této práce a spotřebu trakční energie nutnou k rozjezdu těchto souprav na požadovanou rychlost.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -12-
---	-----------------------------------	-------------

2 Klasifikace jízdních odporů

Jízdní odpor je skupina sil vystupující v základní pohybové rovnici vozidel (1).

$$m_R \cdot \ddot{x} = F_o - O_{vl} - B_{vl} \quad (1)$$

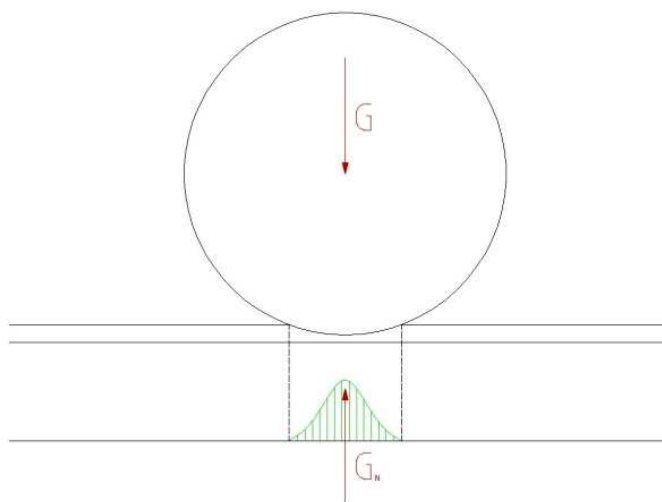
Tato skupina sil, označená jako O , působí proti smyslu pohybu vozidla, ale nelze ji nazvat jako sílu brzdou. Celkový jízdní odpor se dělí na odpor vozidlový a odpor traťový.

2.1 Vozidlový odpor

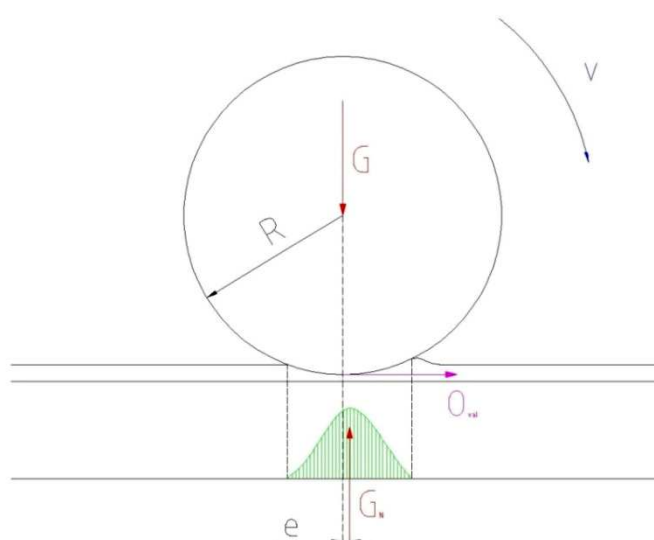
Tato složka jízdního odporu je závislá především na konstrukci a stavu kolejového vozidla. Působíště vozidlového odporu je především na styku vozidla s kolejí (odpor z valení kola po koleji), v uložení dvojkolí (odpor v ložiscích) a na styku s vnějším prostředím (odpor vzduchu). Vozidlový odpor hnacích vozidel má z důvodu působení odporů z prvků přenosu výkonu rozdílnou hodnotu při jízdě výběhem a při jízdě s tažnou silou.

2.1.1 Odpor z valení

Tato složka vozidlového odporu je založena na principu deformace dvou stýkajících se těles. Dvojkolí je vyrobeno z tvrdšího materiálu než kolejnice. To vede k tomu, že se do koleje působením tíže částečně vtlačí. Pokud je dvojkolí v klidu, styk je realizován na malé ploše a rozložení napětí je rovnoměrné okolo osy symetrie. Reakce podložky vyvolaná tíhou kola působí v těžišti plochy (viz Obr. 1), které je v ose symetrie rozložení napětí, což vede k vyrušení obou sil. Vlivem odvalování kola po kolejnici (viz Obr. 2) dojde k rozdílné deformaci kolejnice před a za kolem. Tímto dojde ke změně rozložení tlaků na styčné ploše, a tím i k posunutí reakce kolejnice na kolo o malou vzdálenost ve směru pohybu dvojkolí.



Obr. 1 – Síly působící na dvojkolí v klidu



Obr. 2 – Síly působící na dvojkolí v pohybu

Matematické vyjádření odporu z valení vychází z rovnováhy momentů působící na kolo, vztažené na střed otáčení kola:

$$O_{val} \cdot r = G_N \cdot e \cdot 10^3 \quad (2)$$

$$O_{val} = \frac{G_N \cdot e \cdot 10^3}{r} \quad (3)$$

Měrný odpor z valení se vztahuje na tíhu vozidla a je vyjádřen jako:

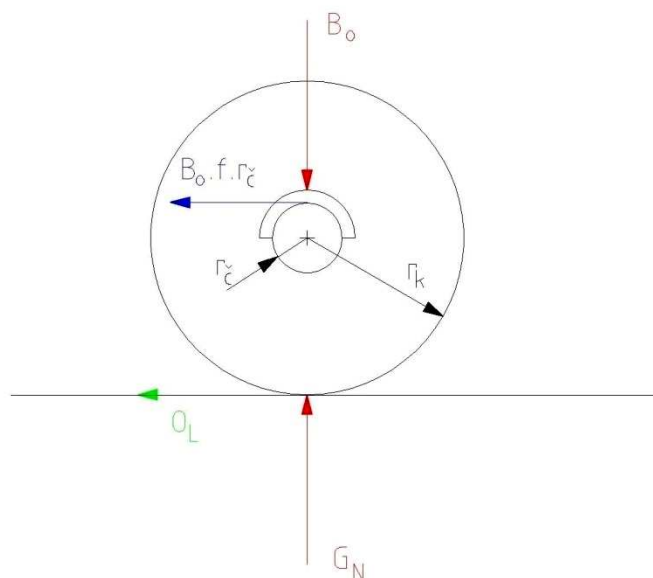
$$o_{val} = \frac{O_{val}}{G} = \frac{G \cdot 10^3 \cdot e}{G \cdot r} = \frac{e}{r} \cdot 10^3 \quad (4)$$

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -14-
---	-----------------------------------	-------------

Hodnota měrného odporu z valení se u kolejových vozidel obvykle pohybuje v rozmezí hodnot 0,2 až 0,6 N.kN⁻¹. Z výše uvedených vztahů vyplývá, že odpor z valení zaleží, mimo tuhosti a drsnosti koleje a kola, i na průměru kol, velikosti svislé kolové síly, rychlosti jízdy, klidnosti valení (sinusový pohyb dvojkolí) a geometrie náprav. (Herzáň a kol., s. 32)

2.1.2 Odpor v ložiscích

Odporové síly v ložiscích je možné určit výpočtem na základě znalosti rozměrů ložiska, velikosti svislé kolové síly zatěžující ložisko, snížené o tíhu vlastního dvojkolí, a součinitele tření v ložisku. Síly působící na ložisko a odporová síla vztážená na obvod kola jsou znázorněny na Obr. 3.



Obr. 3 – Síly působící na ložisko

K vyjádření odporové síly postačí napsat jednu momentovou rovnici, vztáženou na střed kola.

$$Q_L \cdot r_K = B_O \cdot f_c \cdot r_c \quad (5)$$

$$Q_L = \frac{B_O \cdot f_c \cdot r_c}{r_K} = (M_v - M_n) \cdot g \cdot 10^3 \cdot f_c \cdot \frac{r_c}{r_k} \quad (6)$$

Velikost odporových sil v ložisku je značně proměnlivá a záleží především na typu ložiska (kluzné, valivé), teplotě ložiska během provozu a rychlosti jízdy vozidla. Teplota okolního prostředí má velký vliv především na ložiska kluzná, v oblasti suchého tření dosahuje měrný odpor hodnoty v rozmezí 5 až 7 N.kN⁻¹ při teplotách nad bodem mrazu, ale při poklesu teploty pod bod mrazu vzroste tato hodnota až na

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -15-
---	-----------------------------------	-------------

15 N.kN⁻¹. Tyto extrémní hodnoty se během rozjezdu vozidla rychle sníží a ustálí se v rozmezí 0,3 až 1 N.kN⁻¹. Valivá ložiska díky nižšímu součiniteli tření v ložisku dosahují podstatně nižších hodnot tření v rozmezí 0,115 až 0,29 N.kN⁻¹. (Herzáň a kol., s. 30)

2.1.3 Odpor vnějšího prostředí

Odpor vnějšího prostředí má velký vliv na celkový odpor vozidla při vyšších rychlostech jízdy vlaku. K překonání tohoto odporu je nutné udělit hmotě vzduchu před čelním vozidlem kinetickou energii. Z této úvahy plyne i všeobecný vztah pro výpočet odporové síly:

$$O_{vz} = \frac{1}{2} \cdot c_x \cdot S \cdot \rho_{vz} \cdot V^2 \cdot k \quad (7)$$

Člen c_x je bezrozměrný tvarový součinitel, který závisí na tvaru hnacího vozidla a dopravovaných vozidel ve vlaku. Hodnota tvarového součinitele se obvykle pohybuje v rozmezí hodnot 0,2 až 0,3 u vysokorychlostních jednotek, 0,3 až 0,6 u lokomotiv a motorových vozů. Plocha S vyjadřuje příčný průřez čelního vozidla soupravy, ρ_{vz} hustotu okolního vzduchu při běžné venkovní teplotě. Relativní rychlost V zohledňuje rychlost obtékání vzduchové hmoty okolo vozidla, a tudíž se může lišit od skutečné rychlosti jízdy soupravy. Koeficient k se používá k převodu jednotek. Vzhledem k tomu, že určit relativní rychlost je v praktických případech velice složité, využívá se, především pro měření odporu při vyšších rychlostech, aerodynamických tunelů.

Ze vztahu vyplývá, že v klidu je hodnota odporu vnějšího prostředí nulová, ale při rychlostech kolem 100 km.h⁻¹ se hodnota měrného odporu vzduchu pohybuje okolo 10 N.kN⁻¹. (Herzáň a kol., s. 33)

2.1.4 Vztahy pro výpočet měrného vozidlového odporu

Ke stanovení vztahů pro výpočet měrného vozidlového odporu se používají vztahy na základě vyhodnocení praktického měření. Na rozdíl od celkového jízdního odporu, měrný vozidlový odpor lépe vyjadřuje charakteristiku vozidla. Matematicky se zápis provádí polynomem druhého stupně:

$$o_v = a + b \cdot V + c \cdot V^2 \quad (8)$$

Koeficienty a , b , c jsou vypočítané metodou nejmenších čtverců z naměřených hodnot, při rychlosti pohybu V zkoumaného vozidla. Ve specifických případech se může hodnota koeficientu b blížit nebo rovnat nule a je tedy možné jej lze z rovnice vypustit.

Grafické znázornění hodnot vozidlového odporu v závislosti na rychlosti je součástí trakční charakteristiky každého vozidla, pokud ještě není vydána, počítá se vozidlový odpor buď podle obdobné řady hnacího vozidla, nebo se použije vztah z předpisu V7 pro příslušnou konstrukci hnacího vozidla (viz Tab. 2).

Tab. 2 – Vztahy pro výpočet vozidlového odporu podle předpisu ČD V7

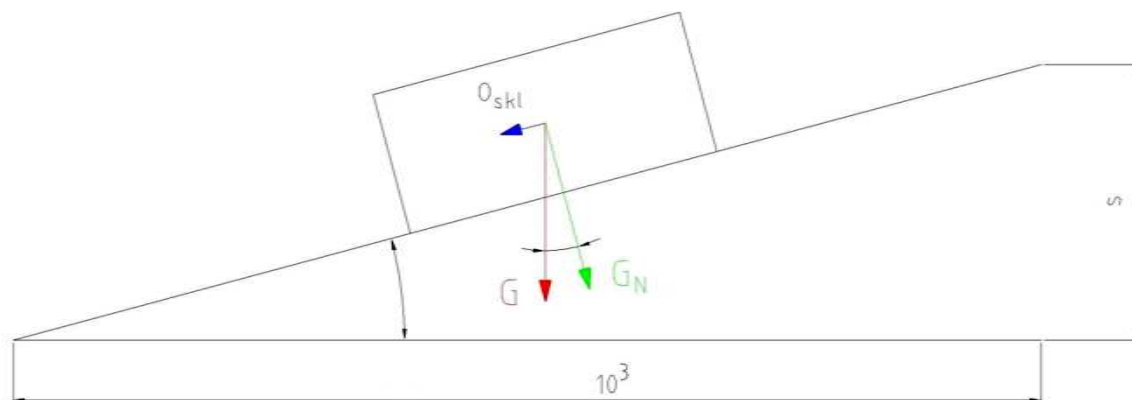
Druh hnacího vozidla	Vztah
B'o B'o	$o_h = 2,8 + 0,00085 \cdot V^2$
C'o C'o	$o_h = 3,8 + 0,02 \cdot V + 0,0004 \cdot V^2$
Motorové jednotky	$o_j = 3 + 0,00037 \cdot V^2$
Elektrické jednotky	$o_j = 2,45 + 0,0123 \cdot V + 0,000414 \cdot V^2$

2.2 Traťové odpory

Traťové odpory jsou druhou složkou jízdního odporu vozidla. Na rozdíl od vozidlového odporu jsou závislé především na stavu trati a jejím trasování (velikost poloměru oblouku, sklon trati, druh a množství tunelů). Oproti vozidlovému odporu může hodnota traťového odporu, ve specifických případech, nabývat záporných hodnot a působit tak ve směru pohybu vozidla. Tento stav nastává při jízdě vozidla ze spádu.

2.2.1 Odpor sklonu

Odpor sklonu je nejvýznamnější složkou traťového odporu. Obecně je sklon trati vyjádřen jako přírůstek výšky koleje na určité délce. Tento přírůstek se obvykle vztahuje na délku jednoho kilometru a může být kladný (stoupání) nebo záporný (klesání trati). Sklon trati je vzhledem k hodnotám zbylých složek rozhodující, neboť na hlavních tratích dosahuje hodnot 15‰, vedlejší trati mohou mít sklon ještě větší.



Obr. 4 – Síly působící na vozidlo při jízdě ve sklonu

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -17-
---	-----------------------------------	-------------

Síly působící na vozidlo při jízdě do stoupání trati jsou znázorněny na obr. 4. Na základě podobnosti trojúhelníků a velikostí jejich úhlů tedy lze napsat rovnice:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{s}{10^3} \quad (9)$$

$$\sin \alpha = \frac{O_s}{10^3 \cdot m_{vl} \cdot g} \quad (10)$$

Za předpokladu malého úhlu α lze uvažovat, že $\operatorname{tg} \alpha \doteq \sin \alpha$ můžeme obě rovnice porovnat:

$$\frac{s}{10^3} = \frac{O_s}{10^3 \cdot m_{vl} \cdot g} \quad (11)$$

Jak bylo výše napsáno, sklon se vztahuje na délku jednoho kilometru. Tato úvaha vede k úpravě rovnice na tvar:

$$O_s = s \cdot m_{vl} \cdot g \quad (12)$$

Měrný odpor sklonu vztažený na hmotnost vozu je definován vztahem (13)

$$o_s = \frac{O_s}{m_{vl} \cdot g} = \frac{s \cdot m_{vl} \cdot g}{m_{vl} \cdot g} = s \quad (13)$$

Po úpravách je tedy zřejmé, že měrný odpor sklonu je přímo roven hodnotě sklonu.

2.2.2 Odpor z jízdy obloukem

Tento odpor vzniká působením řídicích a třecích sil mezi kolem a kolejnicí během průjezdu vozidla obloukem. Při jízdě obloukem vykonává vozidlo obecný pohyb, který je možné nahradit dvěma pohyby základními. Posun vozidla v ose koleje je reprezentován posuvným křivočarým pohybem, jehož trajektorie je shodná s osou koleje. Otáčení vozidla se děje okolo svislé osy procházející středem vozidla.

Exaktní vyjádření odporu z jízdy vozidla obloukem pro každé vozidlo je značně náročné, proto se používají v praxi empirické Röcklovy vztahy představující přibližné střední hodnoty měrného odporu z jízdy vozidla obloukem. Jejich hodnota je určena pro různé druhy tratí a různé hodnoty rozchodu kolejí. V našich podmínkách se používá vztah (14) pro hlavní tratě a vztah (15) pro tratě vedlejší.

$$o_r = \frac{650}{R-55} \quad (14)$$

$$o_r = \frac{500}{R-30} \quad (15)$$

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -18-
---	-----------------------------------	-------------

V případě, že dva oblouky na sebe navazují s krátkou mezipřímou vzdáleností, uvažuje se měrný odpor oblouku zvětšený o hodnotu 1,5.

Z těchto uvedených vztahů je zřejmé, že hodnota měrného odporu z jízdy vozidla obloukem záleží pouze na hodnotě poloměru oblouku, nikoliv na rychlosti jízdy vozidla.

2.2.3 Odpor z jízdy tunelem

Tato složka traťového odporu respektuje zhoršené možnosti obtékání vozidla vzduchem v uzavřeném prostoru tunelu. Vzduch v tunelu nemá možnost obtékat jedoucí vozidlo tak jako ve volném prostoru mimo tunel. To způsobuje víření vzduchu kolem vozidla a jeho vytlačování z tunelu ve směru pohybu vozidla. Velikost součinitele odporu z jízdy tunelem závisí především na rozměrech tunelového profilu. Pro jednokolejný tunel má součinitel hodnotu stanovenou na 2 N.kN^{-1} , dvojkolejný na 1 N.kN^{-1} . Tento odpor působí vždy proti směru pohybu vlaku, proto má vždy kladnou hodnotu.

2.2.4 Náhradní sklon

V praxi se pro trakční výpočty nepočítá s jednotlivými složkami traťového odporu, ale pro zjednodušení výpočtů se zavádí náhradní sklon, který zohledňuje vliv velikostí jednotlivých složek traťového odporu na určitém traťovém úseku. Teoreticky se jedná o přidání fiktivního sklonu trati, jehož velikost odpovídá velikosti odporu z jízdy obloukem a tunelem v daném úseku trati. Matematický zápis má následující podobu:

$$S_n = \frac{s \cdot l + o_{obl} \cdot l_{obl} + o_{tun} \cdot l_{tun}}{l} \quad (16)$$

Jedná se tedy o zastoupení jednotlivých podob traťových odporů v poměru k celkové délce měřeného úseku trati. Takto vyjádřený náhradní sklon je možné dosadit do pohybové rovnice vlaku.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -19-
---	-----------------------------------	-------------

3 Určení trakčních vlastností vozidel

Problematikou určení trakčních vlastností vozidel se zabývá obor zkušebnictví kolejových vozidel. V praxi se tak ověřují výpočty mechanických vlastností vozidel, podle kterých se následně sestaví trakční charakteristika daného vozidla. Z hlediska mechaniky jízdy vozidla se měří tažná síla na spřáhle vozidla v závislosti na rychlosti jízdy, vozidlový odpor vozidla v závislosti na rychlosti, výkon na obvodu hnacích dvojkolí, spotřeba energie (elektrická energie, palivo).

V rámci této práce postačí popsat pouze měření celkového vozidlového odporu a určení součinitele rotačních hmot.

3.1 Měření vozidlového odporu

Pro trakční výpočty má nejdůležitější hodnotu vozidlový odpor při jízdě výběhem, který je součástí trakční charakteristiky každého hnacího vozidla. Hodnotu vozidlového odporu je možné určit přímo metodou pomocí dynamometrického vozu a nepřímo metodou volného výběhu vozidla a následným stanovením měrného odporu vozidla.

3.1.1 Dynamometrická metoda

Tímto měřením se zjišťují hodnoty odporové síly, kterou měřené vozidlo jedoucí výběhem působí na měřící soupravu složenou z hnacího vozidla, jehož odpor se zjišťuje, dynamometrického vozu a dalšího hnacího vozidla, které udržuje požadovanou rychlost soupravy. Při opačném řazení soupravy je naměřený vozidlový odpor menší, než v prvním případě a při porovnání hodnot pro rychlosti větší než $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ je možné určit vliv odporu z vnějšího prostředí. Aby bylo možné vyjádřit křivku vozidlového odporu jako funkční závislost na rychlosti, je nutné provést řadu měření v celém rychlostním rozsahu vozidla.

Přesnost určení vozidlového odporu je závislá na schopnosti hnacího vozidla udržet konstantní rychlost soupravy z důvodu vyloučení setrvačných hmot, které by mohly nepříznivě ovlivnit výsledky měření. (Herzáň a kol., s. 221)

3.1.2 Metoda volného výběhu

Metodou volného výběhu se měří velikost záporného zrychlení vozidla ve výběhu na přímé trati, a v ideálním případě za bezvětrí. Po rozjezdu vozidla na maximální rychlost se v pravidelných intervalech projeté dráhy měří čas. Z časových intervalů se při známé dráze určí průměrná rychlost pohybu v daném úseku. Následně se určí

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -20-
---	-----------------------------------	-------------

hodnota záporného zrychlení vozidla. Do upravené pohybové rovnice pro dané hnací vozidlo se dosadí známá hodnota zrychlení:

$$-o_h = k \cdot \frac{dV}{dT} \quad (17)$$

Takto naměřené a spočtené hodnoty měrného vozidlového odporu se pomocí statistiky a určí se koeficienty a , b , c .

Koeficient k ve vztahu (17) slouží k převodu jednotek a zároveň je v něm zahrnutý součinitel rotačních hmot hnacího vozidla, který určuje přírůstek kinetické energie vozidla vlivem rotujících součástí. (Herzáň a kol., s. 221)

3.2 Měření součinitele rotačních hmot

K určení součinitele rotačních hmot se užívá metoda volného výběhu vozidla do strmého stoupání a následný rozjezd za předpokladu, že vozidlový odpor ve výběhu je stejný, jako odpor rozjezdový. Samotné měření probíhá volným výběhem ze známé počáteční rychlosti do stoupání trati, dokud se vozidlo nezastaví a zaznamená se místo zastavení na trati. Následně se vozidlo nechá vlastní tíží rozjet a při výjezdu z měřeného úseku se opět zaznamená rychlost vozidla.

Ze známé dráhy do zastavení, počáteční a koncové rychlosti je možné vypočítat hodnotu součinitele rotačních hmot. (Herzáň a kol., s. 222)

Pro zjednodušení trakčních výpočtů jsou v předpisu V7 pro hnací vozidla a motorové jednotky udány hodnoty součinitele rotačních hmot (viz Tab. 3).

Tab. 3 – Hodnoty součinitele rotačních hmot v předpisu V7.

Konstrukce vozidla	Součinitel rotačních hmot
Elektrické lokomotivy	0,25 - 0,30
Motorové lokomotivy	0,20 - 0,25
Elektrické a motorové jednotky	0,12 - 0,18
Osobní vozy	0,06
Nákladní vozy prázdné	0,1
Nákladní vozy ložené	0,06

4 Určení charakteristik vozidel a tratí

K porovnání vlivu jednotlivých jízdních odporů poslouží vybrané soupravy vlaků provozovaných Českými Drahami.

4.1 Určení součinitele vozidlového odporu hnacích vozidel

Součinitel vozidlového odporu jednotlivých hnacích vozidel byl výpočtem určen z křivky vozidlového odporu v trakční charakteristice nebo byl použit z dostupné literatury.

Určení hodnot jednotlivých členů rovnice měrného vozidlového odporu byl pro všechna hnací vozidla použit stejný, proto bude popsán jen na jedné řadě hnacího vozidla.

Jako první byly z trakční charakteristiky odečteny hodnoty vozidlového odporu v jednotlivých rychlostech jízdy vozidla řady 363 (viz Tab. 4).

Tab. 4 – Hodnoty vozidlového odporu lokomotivy řady 363

V [km/h]	O_v [kN]
0	3000
10	3082
20	3274
30	3580
40	4000
50	4536
60	5186
70	5950
80	6828
90	7820
100	8927
110	10149
120	11484

Následně byla ze vztahu (18) při $V=0$ určena hodnota členu a :

$$o_h = a + b \cdot V + c \cdot V^2 \quad (18)$$

$$o_h = a \quad (19)$$

$$a = \frac{o_h}{M_{h.g}} \quad (20)$$

Po dosažení hodnoty vozidlového odporu a hmotnosti vozidla $M=87 t$

$$a = \frac{3000}{87.9,81} = 3,52 \quad (21)$$

Následně byly z hodnot celkového jízdního odporu vypočítány hodnoty měrného vozidlového odporu pro jednotlivé rychlosti jízdy vozidla (viz Tab. 5):

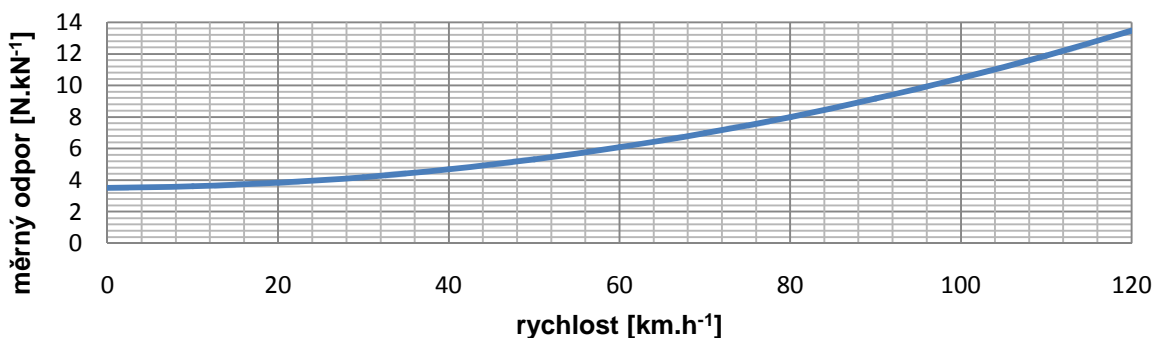
Tab. 5 – Hodnoty měrného vozidlového odporu lokomotivy řady 363

V [km/h]	o_v [N.kN ⁻¹]
0	3,52
10	3,61
20	3,84
30	4,19
40	4,69
50	5,31
60	6,08
70	6,97
80	8
90	9,16
100	10,46
110	11,89
120	13,46

Z těchto vypočítaných hodnot se pomocí regresní křivky polynomu druhého stupně určí rovnice měrného vozidlového odporu lokomotivy řady 363:

$$o_h = 3,52 + 0,002.V + 0,00067.V^2 \quad (22)$$

Grafické znázornění průběhu hodnot měrného vozidlového odporu je zobrazeno na Obr. 5.



Obr. 5 – Průběh hodnot měrného vozidlového odporu lokomotivy řady 363

V následující tabulce jsou uvedeny rovnice měrného vozidlového odporu pro vybrané řady hnacích vozidel užívaných Českými Drahami.

Tab. 6 – Rovnice měrného vozidlového odporu vybraných řad hnacích vozidel

Řada hnacího vozidla	Rovnice měrného vozidlového odporu
130	$o_h = 4,74 + 0,00051.V^2$
150, 151	$o_h = 3,5 + 0,0015.V + 0,00065.V^2$
162, 163	$o_h = 3,52 + 0,002.V + 0,00067.V^2$
460	$o_h = 2,2 + 0,015.V + 0,00038.V^2$
680	$o_h = 2,4 + 0,0024.V + 0,00018.V^2$
751	$o_h = 3,87 + 0,006.V + 0,00077.V^2$
754	$o_h = 2,96 + 0,005.V + 0,0006.V^2$
810	$o_h = 1,86 + 0,00161.V^2$
814	$o_h = 0,47 + 0,002.V + 0,00029.V^2$

4.2 Součinitel vozidlového odporu dopravovaných vozidel

Vzhledem k relativní unifikaci vozového parku provozovaného na tratích v ČR dostatečně poslouží k výpočtu hodnot vozidlového odporu vztahy z předpisu V7, pro jednotlivé konstrukce dopravovaných vozidel.

4.2.1 Rovnice měrného vozidlového odporu osobních vozů

Rozdělení osobních vozů na jednotlivé kategorie jízdního odporu je závislé především na maximální povolené rychlosti vozu a zatížení na jednu nápravu vozidla.

Typ jízdního odporu R odpovídá 4 nápravovým rychlíkovým vozům typu X (vozy s podvozky Görlitz V), Y (vozy s podvozky GP 200) pro rychlosti do 160 km.h^{-1} a průměrným zatížením na jednu nápravu do 15 tun. Rovnice měrného vozidlového odporu má tvar:

$$o_d = 1,35 + 0,0008.V + 0,00033.V^2 \quad (23)$$

Jízdní odpor typu M4 reprezentuje 4 nápravové přípojné vozy s maximální rychlostí do 100 km.h^{-1} . Do této třídy jízdního odporu patří vozy řady Bmx (050) a Bix (020). Rovnice měrného vozidlového odporu má tvar:

$$o_d = 1,8 + 0,01.V + 0,000476.V^2 \quad (24)$$

Poslední typ jízdního odporu je třída M2, do které náleží 2 nápravové osobní vozy (řady Btax, Baafx,...) s maximální rychlostí do 80 km.h^{-1} . Rovnice měrného vozidlového odporu:

$$o_d = 1,5 + 0,00089.V^2 \quad (25)$$

4.2.2 Rovnice měrného vozidlového odporu nákladních vozů

U nákladních vozů se typy jízdního odporu rozlišují podle počtu náprav konkrétního vozidla, a podle toho, zda je dané vozidlo v loženém nebo prázdném stavu. Rovnice měrného odporu odpovídající různým konstrukcím vozidel jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 7 – Rozdělení vozidlových odporů nákladních vozů

Typ jízdního odporu	Rovnice vozidlového odporu	Popis konstrukce
T2	$o_d = 1,7 + 0,003.V + 0,00018.V^2$	Ložené 2nápravové vozy
T4	$o_d = 1,3 + 0,00033.V^2$	Ložené 4nápravové vozy
U2	$o_d = 2,0 + 0,00125.V^2$	Prázdné 2 nápravové vozy
U4	$o_d = 2,0 + 0,0008.V^2$	Prázdné 4nápravové vozy

4.3 Reprezentativní soupravy vlaků

K porovnání vlivu vozidlového odporu na celkový jízdní odpor budou použity nejčastěji řazené soupravy osobních a nákladních vlaků provozovaných na tratích ČD.

4.3.1 Soupravy osobních vlaků

Soupravy osobních vlaků budou porovnány na základě kategorie vlaku a závislé či nezávislé trakce.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -25-
---	-----------------------------------	-------------

Jako souprava osobního vlaku provozovaného na tratích nezávislé trakce byla vybrána souprava motorového vozu řady 810 s jedním přípojným vozem řady Btax, motorová jednotka řady 814 a klasická souprava vedená hnacím vozidlem řady 749 se dvěma vozy řady Bdt.

Osobní vlaky závislé trakce byly porovnány jako vlak klasického řazení hnacího vozidla řady 163 s třemi taženými vozy řady Bdt a dvou elektrických motorových jednotek (třívozová jednotka řady 471 a pětivozová jednotka řady 460). Při sestavování souprav byla věnována pozornost nejmenšímu možnému rozdílu v kapacitě souprav, stejně jako u osobních vlaků nezávislé trakce.

Soupravy rychlíků nezávislé trakce byly sestaveny podle platného GVD a jsou uvedeny v následující tabulce. Do výpočtu byla zahrnuta i souprava s hnacím vozidlem řady 751 pro porovnání se soupravou vedenou lokomotivou řady 754.

Tab. 8 – Soupravy rychlíků nezávislé trakce

Označení vlaku	Řazení vlaku
R 901	754 + AB + BDs + Bd
R 903	751 + AB + BDs + B
Sp	843 + 2*Btn

Vlaky dálkové dopravy závislé trakce podle současného řazení vlaků kategorie R, IC, EC a pro porovnání byla do výpočtu zahrnuta i jednotka 680 (viz Tab. 9).

Tab. 9 – Soupravy vlaků dálkové dopravy závislé trakce

Označení vlaku	Řazení vlaku
R 700	162 + 6*B + Aee
IC 580	151 + Apee + 7*Bee ²⁷² + BDbmsee + WRm + Apee
EC 110	151 + Bee + 4*Bmee + 3*Bpee + WRmz + Ampz

Pro všechny soupravy bylo počítáno s plným obsazením míst k sezení cestujícími o hmotnosti 80 kg. Vůz se zavazadlovým oddílem je plně naložen zavazadly o celkové hmotnosti 7500 kg. Hmotnosti jednotlivých vozů s počty míst k sezení jsou uvedeny v Tab. 10.

Tab. 10 – Hmotnosti použitých osobních vozů

Označení vozu	M_v	n	M_d
AB	37,5	64	42,6
Aee	42	54	46,3
Apee	41	60	44,6
Ampz	47	58	50,5
B	38,5	80	44,9
Bd	38,5	72	44,3
Bee	42,5	60	46,1
Bee ²⁷²	39	58	42,5
Bpee	41	78	47,2
Btax	15	62	20
Btn	31	72	36,8
Bmee	40	66	44
BDbmsee	40	36	49,7
BDs	38	40	48,7
WRm	46	6	46,5
WRmz	53	6	53,5

Celková hmotnost vozu byla spočtena ze vztahu (26)

$$M_d = M_v + \frac{n \cdot m_c}{1000} \quad (26)$$

Hmotnosti jednotlivých hnacích vozidel a jednotek jsou uvedeny v Tab. 11. V případě jednotek jsou hmotnosti uvedeny při plném obsazení cestujícími.

Tab. 11 – Hmotnosti hnacích vozidel

Řada hnacího vozidla	Hmotnost [t]
130	86
150, 151	86
162, 163	84
460	221
471	179
680	410,5
751	77,8
754	73
810	27,3
814	54,1
843	60,8

4.3.2 Soupravy nákladních vlaků

Nákladní vlaky jsem volil jako ucelené soupravy ložených nákladních vozů. První souprava odpovídá ucelenému vlaku složenému z hnacího vozidla řady 130 a ložených vozů řady Hbbillnss. Druhá souprava je složena z hnacího vozidla řady 163 a ložených vozů řady Falls. Třetí souprava reprezentuje vlak kontejnerové dopravy složený z vozů řady Sgnss. Pro všechny soupravy byl výpočet proveden v prázdném i loženém stavu. Hmotnosti vozů jsou uvedeny v Tab. 12.

Tab. 12 – Hmotnosti použitých nákladních vozů

Řada vozu	M_v	M_l	M_d
Hbbillns	17,3	27	44,3
Falls	25,5	54	79,5
Sgnss	20	70	90

4.4 Stanovení tratí k rozboru jízdních odporů

Pro porovnání vlivu vozidlového odporu na spotřebu trakční energie a délku jízdních dob byly stanoveny modelové trati, na kterých jsou dané soupravy v běžném provozu nasazovány.

Spotřeba trakční energie osobních vlaků nezávislé trakce byla porovnána na trati s náhradním sklonem 12‰ na délce 15 kilometrů. Rychlost byla stanovena na 60 km.h⁻¹.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -28-
---	-----------------------------------	-------------

Výpočet pro rychlíky a spěšné vlaky nezávislé trakce byl proveden na trati s náhradním sklonem 17‰ na délce 21 kilometrů při rychlosti 60 km.h⁻¹, což přibližně odpovídá trati mezi Hanušovicemi a Ramzovou, kde jsou nasazovány všechny tři stanovené soupravy.

Osobní vlaky závislé trakce byly porovnávány na trati s náhradním sklonem 10‰ dlouhé 20 kilometrů. Maximální rychlost byla z důvodu omezení maximální rychlosti jednotky 460 stanovena na 100 km.h⁻¹.

Spotřeba trakční energie vlaků dálkové dopravy byla porovnána na trati dlouhé 30 kilometrů s náhradním sklonem 5‰. Maximální rychlost byla stanovena pro všechny soupravy, včetně řady 680, na 140 km.h⁻¹. Takto zvolená trať by měla odpovídat úseku trati 270 mezi Olomoucí a Zábřehem na Moravě.

Vliv vozidlového odporu souprav nákladních vlaků, bude porovnán na úseku trati dlouhém šest kilometrů s náhradním sklonem 12‰. Takto zvolený úsek trati přibližně odpovídá úseku trati mezi Rudolticemi v Čechách a vrcholem stoupání trati u Třebovic v Čechách.

Výpočty jízdních dob souprav závislé trakce budou provedeny na základě skutečných sklonových a směrových poměrů trati 270 v úseku mezi Olomoucí a Červenkou.

4.5 Trakční charakteristiky vozidel

Při určení tažné síly na obvodu kol hnacích vozidel všech řad mimo řady 151 a 162 bylo vycházeno z trakčních charakteristik dané řady vozidla. U řad 151 a 162 bylo nutné provést přepočítání na základě známého převodového poměru a průměru dvojkolí. Hodnoty těchto parametrů jsou uvedeny v Tab. 13.

Tab. 13 – Hodnoty převodů a průměry dvojkolí hnacích vozidel řad 151 a 162

Řada HV	i	d [mm]
150	2,441	1250
151	2,162	
162	3,038	1215
163	3,522	

Za předpokladu stejných otáček dvojkolí při dané rychlosti je možné sestavit trakční charakteristiku. Postup výpočtu bude uveden pro hnací vozidlo řady 162. Jako první byly ze vztahu (27) vypočítány otáčky dvojkolí při dané rychlosti.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -29-
---	-----------------------------------	-------------

$$n_d = \frac{V \cdot 10^3 \cdot 60}{3,6 \cdot \pi \cdot d} \quad (27)$$

Následně byly určeny podle vztahu (28) otáčky trakčních motorů řady 163 a podle vztahu (29) pro řadu 162.

$$n_{M163} = i_{163} \cdot n_d \quad (28)$$

$$n_{M162} = i_{162} \cdot n_d \quad (29)$$

Dále je třeba určit otáčky dvojkolí řady 163 při rychlosti jízdy odpovídající otáčkám trakčních motorů lokomotivy řady 162 (30).

$$n_{d163} = \frac{n_{M162}}{i_{163}} \quad (30)$$

Z tohoto vztahu již lze určit rychlost jízdy hnacího vozidla řady 163, které jsou shodné s otáčkami trakčního motoru hnacího vozidla řady 162 při dané rychlosti (31).

$$V_{163} = \frac{3,6 \cdot n_{d163} \cdot \pi \cdot d}{10^3 \cdot 60} \quad (31)$$

Pro takto určené rychlosti jízdy při daných otáčkách trakčních motorů hnacího vozidla řady 163 se z trakční charakteristiky odpovídající hodnoty sil na obvodu kola a podle vztahu (32) určí síla na obvodu kol hnacího vozidla řady 162. Jednotlivé hodnoty výpočtů pro řadu 162 jsou uvedeny v Tab. 14. Výpočet trakční charakteristiky řady 151 je uveden v Tab. 15.

$$F_{o162} = \frac{i_{162}}{i_{163}} \cdot F_{o163} \quad (32)$$

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -30-
---	-----------------------------------	-------------

Tab. 14 – Výpočet trakční charakteristiky řady 162

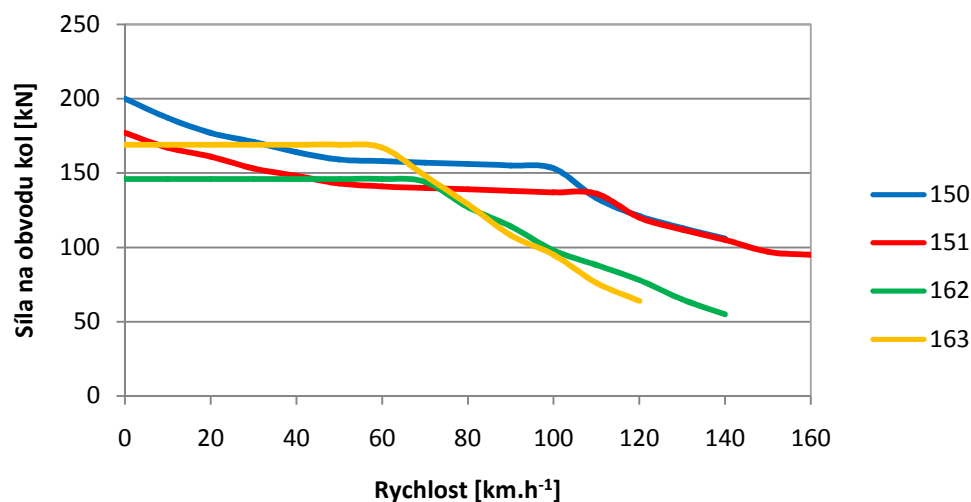
V	F _o	n _d	n _{M163}	n _{M162}	n _{d163}	V ₁₆₃	F _{o(V163)}	F _{o162}
[km.h ⁻¹]	[kN]	[min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[kN]	[kN]
0	169	0	0	0	0	0	169	146
10	169	43,69	153,88	132,73	37,69	8,63	169	146
20	169	87,37	307,72	265,43	75,36	17,25	169	146
30	169	131,06	461,59	398,16	113,05	25,88	169	146
40	169	174,74	615,43	530,86	150,73	34,5	169	146
50	169	218,43	769,31	663,59	188,41	43,13	169	146
60	167	262,12	923,19	796,32	226,1	51,76	169	146
70	148	305,8	1077,03	929,02	263,78	60,38	169	146
80	129	349,49	1230,9	1061,75	301,46	69,01	140	121
90	108	393,17	1384,74	1194,45	339,14	77,63	135	116
100	95	436,86	1538,62	1327,18	376,83	86,26	114	98
110	76	480,55	1692,5	1459,91	414,51	94,88	102	88
120	64	524,23	1846,34	1592,61	452,19	103,51	92	79
130	-	567,92	2000,21	1725,34	489,88	112,14	75	65
140	-	611,6	2154,06	1858,04	527,55	120,76	64	55

Stejným postupem byly stanoveny hodnoty síly na obvodu kola pro hnací vozidlo řady 151. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 15.

Tab. 15 – Trakční charakteristika hnacího vozidla řady 151

V	F _o	n _d	n _{M150}	n _{M151}	n _{d150}	V ₁₅₀	F _{o(V150)}	F _{o151}
[km.h ⁻¹]	[kN]	[min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[kN]	[kN]
0	200	0	0	0	0	0	200	177
10	187	42,46	103,64	91,8	37,61	8,86	189	167
20	177	84,93	207,31	183,62	75,22	17,71	182	161
30	171	127,39	310,96	275,42	112,83	26,57	173	153
40	164	169,85	414,6	367,22	150,44	35,43	167	148
50	159	212,31	518,25	459,01	188,04	44,28	162	143
60	158	254,78	621,92	550,83	225,66	53,14	159	141
70	157	297,24	725,56	642,63	263,27	62	158	140
80	156	339,7	829,21	734,43	300,87	70,85	157	139
90	155	382,17	932,88	826,25	338,49	79,71	156	138
100	154	424,63	1036,52	918,05	376,1	88,57	155	137
110	133	467,09	1140,17	1009,85	413,7	97,43	154	136
120	121	509,55	1243,81	1101,65	451,31	106,28	135	120
130	113	552,02	1347,48	1193,47	488,93	115,14	127	112
140	106	594,48	1451,13	1285,27	526,53	124	118	105
150	-	636,94	1554,77	1377,06	564,14	132,85	110	97
160	-	679,41	1658,44	1468,88	601,75	141,71	107	95

Grafické porovnání průběhu velikosti síly na obvodu kola v závislosti na rychlosti jízdy vozidla je uvedeno na Obr. 6.



Obr. 6 – Trakční charakteristiky vozidel daných řad

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -32-
---	-----------------------------------	-------------

4.6 Princip výpočtu jízdních dob

Při výpočtu jízdních dob jednotlivých souprav bylo vycházeno ze základní pohybové rovnice vlaku (1) rozepsané do tvaru:

$$m_R \ddot{x} = F_o - O_h - O_d - O_t - B \quad (33)$$

Členy O_h a O_d vyjadřují hodnotu vozidlového odporu hnacích resp. dopravovaných vozidel a mají tvar rovnice (34).

$$O_{h,d} = M_{h,d} \cdot o_{h,d} \cdot g \quad (34)$$

Při výpočtech vozidlového odporu bylo počítáno s hodnotami měrného vozidlového odporu uvedenými v Tab. 5. Pokud nebyly k dispozici údaje o dané řadě hnacího vozidla, byl použit obecný vztah z předpisu V7.

Člen O_t odpovídá velikosti traťového odporu a je vyjádřen vztahem (35)

$$O_t = o_t \cdot (M_h + M_d) \cdot g \quad (35)$$

Redukovanou hmotnost vlaku m_R lze rozepsat do vztahu (36)

$$m_R = 10^3 \cdot M_R = 10^3 \cdot M \cdot (1 + \rho_V) = 10^3 \cdot [M_h \cdot (1 + \rho_h) + M \cdot (1 + \rho_d)] \quad (36)$$

Jednotlivé hodnoty součinitele rotačních hmot ρ byly při výpočtu počity podle předpisu V7. V úvahu byla brána vždy vyšší hodnota součinitele.

Takto rozepsané jednotlivé členy byly dosazeny do základní pohybové rovnice vlaku, čímž získáme vztah (37)

$$10^3 \cdot [M_h \cdot (1 + \rho_h) + M \cdot (1 + \rho_d)] \cdot \ddot{x} = F_o - M_h \cdot o_h \cdot g - M_d \cdot o_d \cdot g - o_t \cdot (M_h + M_d) \cdot g - B$$

Z tohoto vztahu se vyjádří zrychlení jako funkce rychlosti a dráhy podle vztahu (38)

$$\ddot{x} = \frac{dv^2}{2 \cdot dl} \quad (38)$$

Který bude dosazen do pohybové rovnice vlaku (39).

$$\frac{dv^2}{2 \cdot dl} = \frac{F_o - M_h \cdot o_h \cdot g - M_d \cdot o_d \cdot g - o_t \cdot (M_h + M_d) \cdot g - B}{10^3 \cdot [M_h \cdot (1 + \rho_h) + M \cdot (1 + \rho_d)]} \quad (39)$$

Po integraci tohoto vztahu dostaneme vztah (40)

$$v^2 - v_0^2 = \frac{F_o - M_h \cdot o_h \cdot g - M_d \cdot o_d \cdot g - o_t \cdot (M_h + M_d) \cdot g - B}{10^3 \cdot [M_h \cdot (1 + \rho_h) + M \cdot (1 + \rho_d)]} \cdot 2dl \quad (40)$$

Při známé velikosti jednoho úseku projeté dráhy a počáteční rychlosti dostaneme vztah pro hodnotu rychlosti na konci měřeného úseku dráhy (41).

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -33-
---	-----------------------------------	-------------

$$v = \sqrt{\frac{F_o - M_h \cdot o_h \cdot g - M_d \cdot o_d \cdot g - o_t \cdot (M_h + M_d) \cdot g - B}{10^3 \cdot [M_h \cdot (1 + \rho_h) + M \cdot (1 + \rho_d)]} \cdot 2dl + v_0^2} \quad (41)$$

Z takto spočítaných hodnot rychlostí jízdy v jednotlivých úsecích trati byla určena i jízdní doba v jednotlivých úsecích podle vztahu (42).

$$t = \frac{l}{v} = \frac{l}{\frac{v_n + v_{n-1}}{2}} \quad (42)$$

Tento vztah byl použit z důvodu zaokrouhlení hodnoty zrychlení na tři desetinná místa, což při konstantní rychlosti vedlo, při použití vztahu se zrychlením, k dělení číslem nula.

Celková jízdní doba byla určena jako suma dílčích jízdních dob (43).

$$t = \sum_i^n t_i \quad (43)$$

4.7 Vztahy pro výpočet spotřeby trakční energie

Spotřeba trakční energie je definována vztahem (44).

$$dW = F_o \cdot dl \quad (44)$$

Tato rovnice udává, že přírůstek práce je roven součinu síly na obvodu kol hnacího vozidla a elementu dráhy, který vozidlo ujede za určitý čas při určitém zrychlení.

Pro názornost je u vozidel závislé trakce uvedena spotřeba trakční energie v kilowatthodinách, u hnacích vozidel trakce nezávislé je z trakční charakteristiky nebo podle údajů výrobce uvedena spotřeba pohonných hmot potřebná na projetí úseku při konstantní rychlosti. Převodní vztah pro přepočet mechanické práce na kilowatthodiny je definován vztahem (45).

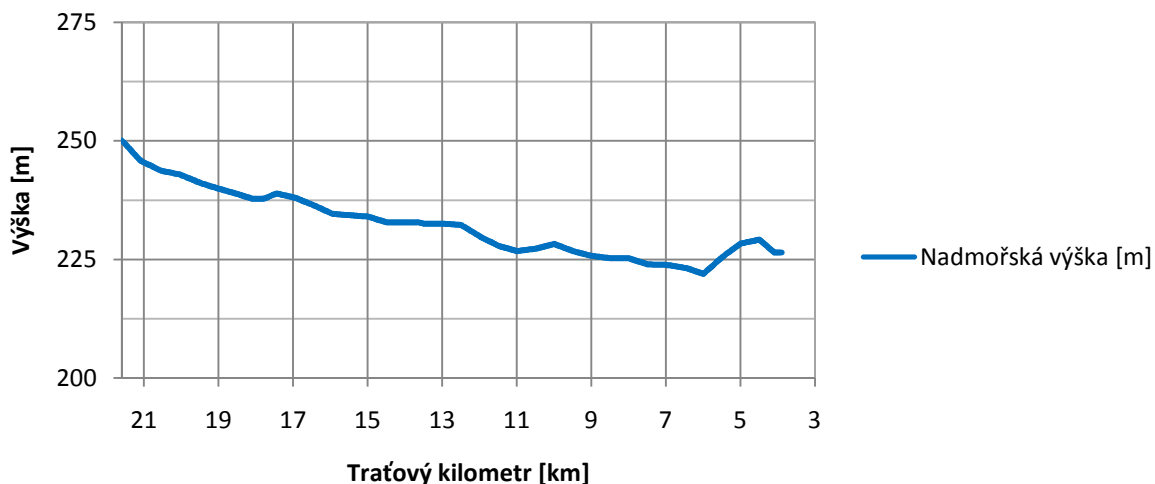
$$E = \frac{W}{3600} \quad (45)$$

Při výpočtech spotřebované trakční energie nutné k rozjezdu soupravy bude počítáno se střední hodnotou tažné síly.

4.8 Určení sklonových a směrových poměrů tratí

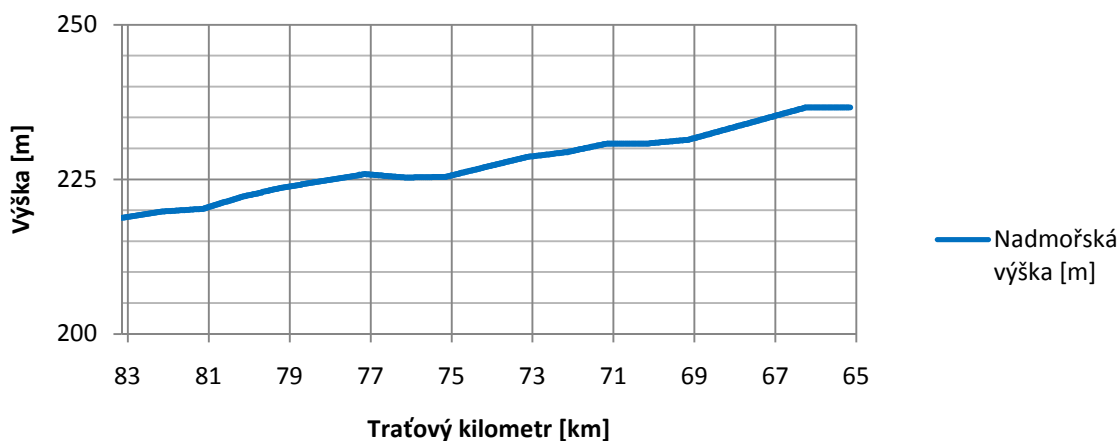
Pro výpočty jízdních dob byly zpracovány na základě měření přístrojem GPS data o směrových a sklonových poměrech. Hodnoty nadmořské výšky byly určeny na základě barometrického výškoměru, poloměry oblouků byly získány podle polohy při vjezdu do oblouku bodu v oblouku a na jeho konci.

Jízdní doby osobních vlaků nezávislé trakce byly stanoveny pro úsek trati 275 mezi stanicí Olomouc Město a zastávkou Náměšť na Hané. Výškový profil tohoto úseku je uveden na Obr. 7.



Obr. 7 – Výškový profil trati mezi zastávkou Náměšť na Hané a stanicí Olomouc Město

Výpočty jízdních dob vlaků dálkové dopravy závislé trakce, stejně jako osobních vlaků závislé trakce, byly provedeny pro úsek trati číslo 270 mezi stanicemi Olomouc hlavní nádraží a Červenka. Výškový profil této trati je uveden na Obr. 8.



Obr. 8 – Výškový profil 1. TK mezi stanicemi Olomouc a Červenka

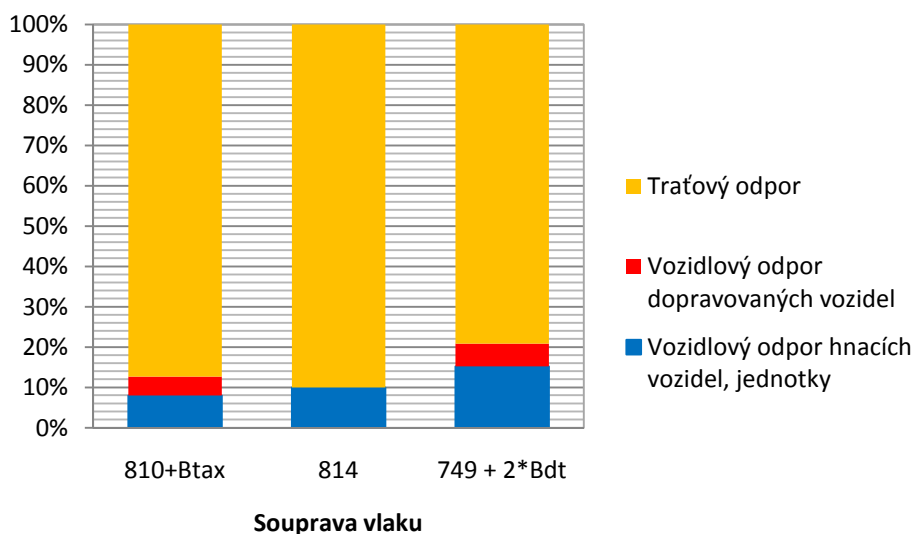
5 Rozbor jednotlivých složek jízdního odporu

V této kapitole bude proveden rozbor vlivu vozidlového a traťového odporu při jízdě konstantní rychlostí po trati se stálou hodnotou náhradního sklonu popsanych v předcházející kapitole. Dále bude provedeno porovnání vlivu jízdního odporu na energetickou náročnost jízdy.

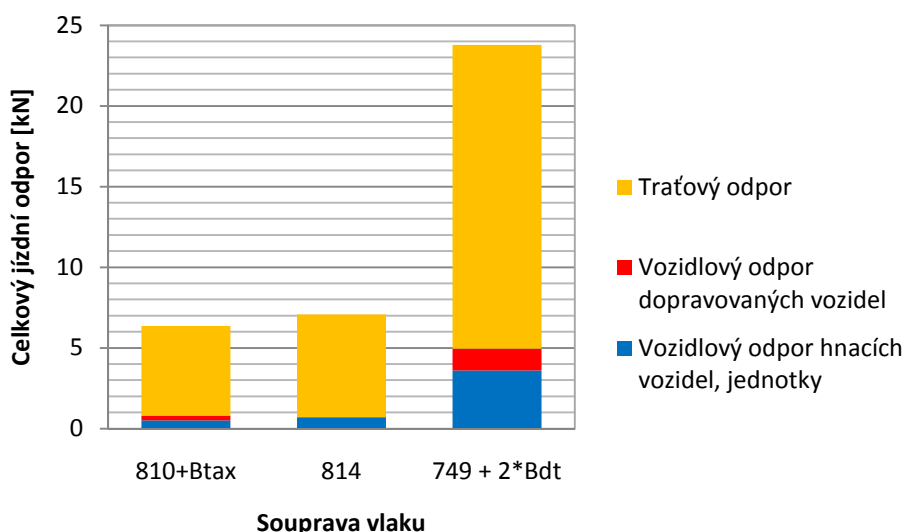
5.1 Vozidla nezávislé trakce

5.1.1 Osobní vlaky

Osobní vlaky nezávislé trakce jsou provozovány na tratích s rozmanitými hodnotami náhradního sklonu. Vliv jednotlivých složek jízdního odporu se budou v závislosti na traťových poměrech lišit. Nejmenší hodnotu vozidlového odporu bude mít vzhledem k nízké celkové hmotnosti souprava motorového vozu řady 810 a přípojného vozu Btax. Hodnota vozidlového odporu motorové jednotky řady 814 bude, i přes nižší hodnotu měrného vozidlového odporu této jednotky, větší z důvodu vyšší hmotnosti této jednotky. Největší hodnotu vozidlového odporu pak bude mít souprava složená z hnacího vozidla řady 749 a dvou vozů řady Bdt, vzhledem k její velké hmotnosti a velké hodnotě měrného vozidlového odporu. Vzhledem k velkým rozdílům v hodnotách jednotlivých složek jízdních odporů, především kvůli soupravě vlaku s hnacím vozidlem řady 749 bude grafické znázornění těchto složek vyjádřeno jako procentuální podíl, uvedený na Obr. 9. Pro názornost bude uvedeno i porovnání absolutních hodnot jednotlivých složek jízdního odporu na Obr. 10.



Obr. 9 – Procentuální vyjádření jednotlivých složek jízdních odporů



Obr. 10 – Porovnání hodnot celkových jízdních odporů

Z uvedeného porovnání je zřejmé, že největší podíl na celkovém jízdním odporu bude mít odpor z jízdy do sklonu, jehož hodnota v případě souprav motorového vozu řady 810 a motorové jednotky řady 814 činí zhruba 8 kN. U soupravy vlaku s hnacím vozidlem řady 749 má traťový odpor hodnotu o 10 kN vyšší, z důvodu vyšší hmotnosti hnacího i dopravovaných vozů. Dále je z tohoto srovnání zřejmá vyšší hodnota vozidlového odporu motorové jednotky řady 814 (1,4 kN) oproti soupravě motorového vozu řady 810 s přípojným vozem Btax (0,8 kN).

Z takto vyjádřených hodnot celkového jízdního odporu je možné stanovit spotřebu trakční energie vyjádřené v tomto případě na spotřebu pohonných hmot nutnou k projetí daného úseku trati. Jako první je třeba podle vztahu (46) určit dobu nutnou k projetí tohoto úseku trati konstantní rychlostí.

$$t = \frac{v}{l} \quad (46)$$

Po dosazení příslušných hodnot do tohoto vztahu vychází jízdní doba při konstantní rychlosti 60 km.h^{-1} 0,25 h.

Spotřeba pohonných hmot je v trakčních charakteristikách udávána pro příslušný jízdní stupeň hnacího vozidla na jednotku času, v našem případě na hodiny. Motorový vůz řady 810 má při zařazeném druhém blokováném stupni spotřebu 46 l na hodinu, za 0,25 h pak spotřebuje 11,5 litrů pohonných hmot. Hnací jednotka motorové jednotky řady 814 má podle údajů výrobce spotřebu $202 \text{ g.kW}^{-1}.\text{h}^{-1}$.

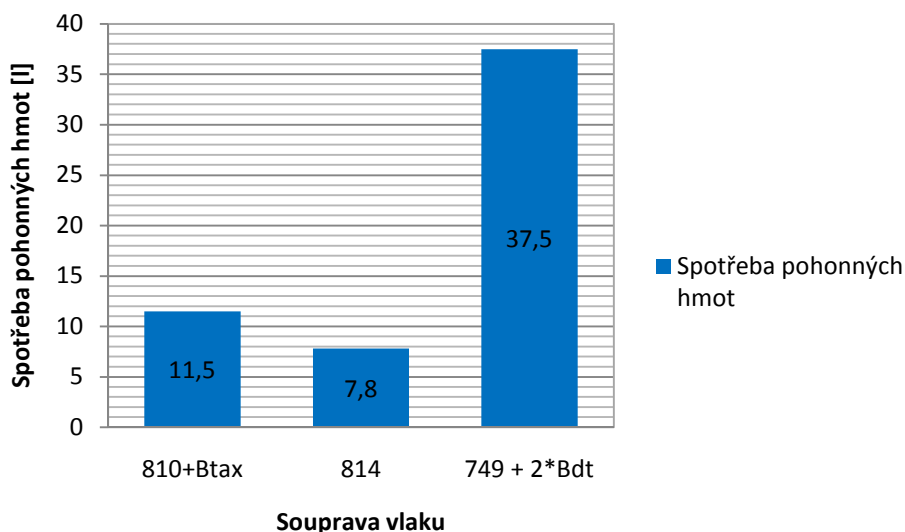
Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -37-
---	-----------------------------------	-------------

Po dosažení daných hodnot do vztahu (47) pro výpočet trakční energie získáme

$$E = \frac{F \cdot l}{3600} = \frac{7809,15}{3600} = 32,59 \text{ kW} \cdot \text{h} \quad (47)$$

Z této spotřeby energie vyplývá, že na projetí úseku je zapotřebí 6,6 kilogramů pohonných hmot. Po přepočtení na objem spotřebovaných pohonných hmot je tato hodnota rovna 7,8 litrů.

Hnací vozidlo řady 749 musí vyvinout k překonání jízdních odporů sílu 26 kN, což odpovídá zařazenému šestému jízdnímu stupni. Při tomto jízdním stupni má hnací vozidlo řady spotřebu 205 litrů pohonných hmot za hodinu. Z toho plyne, že na přijetí tohoto úseku trati se spotřebuje 37,5 litrů nafty. Grafické znázornění je uvedeno na Obr. 11.

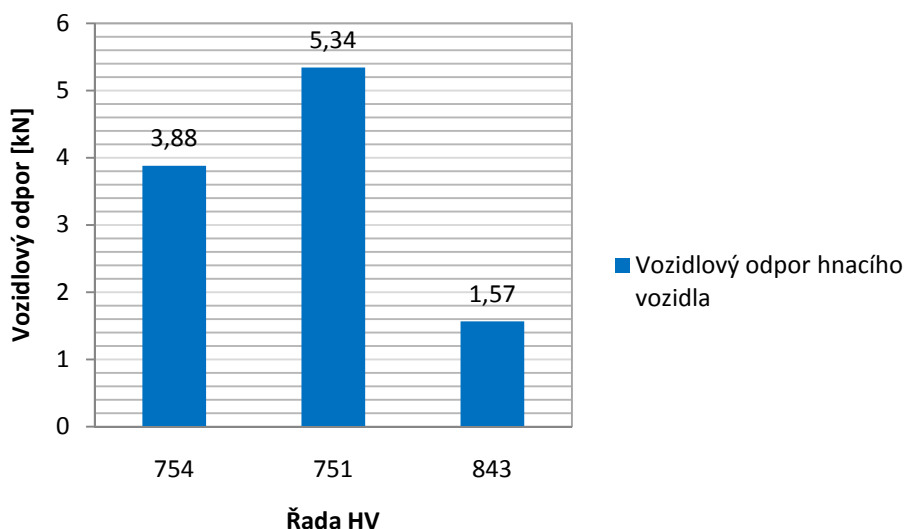


Obr. 11 – Spotřeba pohonných hmot

Z tohoto srovnání je zřejmé, že nejvyšší spotřebu pohonných hmot bude mít souprava hnacího vozidla řady 749, z důvodu již zmíněné vyšší hmotnosti a hodnoty měrného vozidlového odporu. Zajímavé je také srovnání motorového vozu řady 810 s motorovou jednotkou řady 814. I přes vyšší hodnotu celkového jízdního odporu řady 814 má motorová jednotka spotřebuje 67% potřebného množství paliva ve srovnání s motorovým vozem řady 810 především díky modernějšímu spalovacímu motoru s nižší spotřebou.

5.1.2 Rychlíky a spěšné vlaky

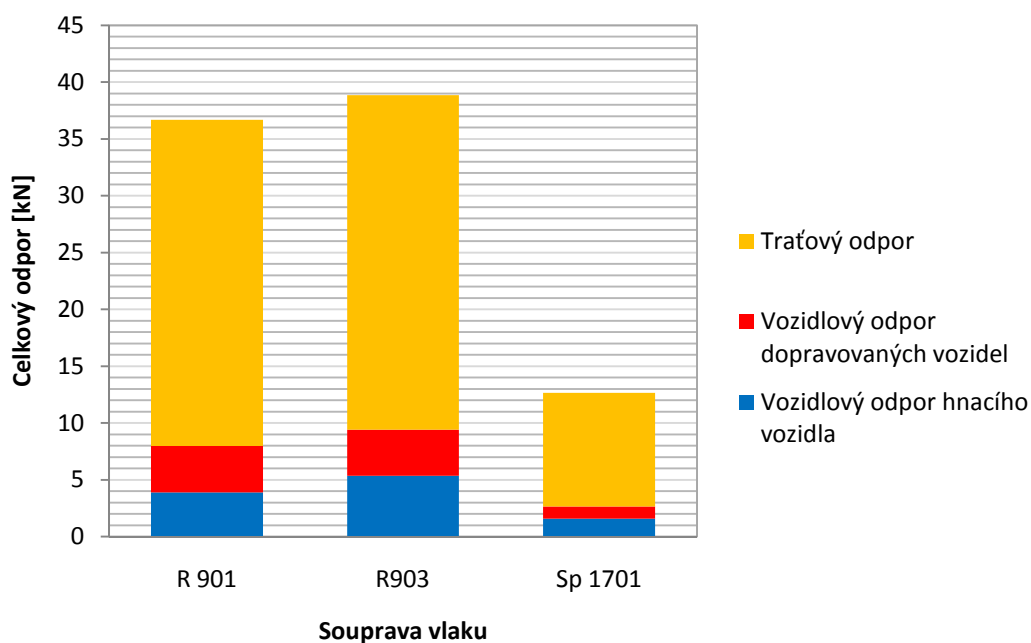
Soupravy rychlíků jsou ve většině případů provozovány na sklonově náročných tratích, z toho důvodu bude patrně rozhodující odporovou silou odpor ze sklonu trati. Celková hodnota vozidlového odporu hnacích vozidel bude záviset především na velikosti součinitele měrného vozidlového odporu a hmotnosti hnacího vozidla, jak je zřejmé z Obr. 12.



Obr. 12 – Porovnání velikosti vozidlových odporů hnacích vozidel

Z tohoto obrázku vyplývá, že nejvyšší hodnotu vozidlového odporu má hnací vozidlo řady 751 vzhledem k jeho starší konstrukci a vyšší hmotnosti. Naproti tomu nízká hodnota vozidlového odporu motorového vozu řady 843 je dána jeho nízkou hmotností a použitím obecného vztahu měrného vozidlového odporu pro motorové vozy z předpisu V7.

Celková nízká hmotnost soupravy vlaku Sp 1701 má vliv i na nízkou hodnotu celkového jízdního odporu, který vychází zhruba třetinový v porovnání s klasickou soupravou, jak lze vidět na Obr. 13.



Obr. 13 – Porovnání celkových jízdních odporů rychlíků a spěšných vlaků nezávislé trakce

Posledním provedeným výpočtem bylo určení spotřeby pohonných hmot jednotlivých hnacích vozidel. U hnacích vozidel řad 751 a 754 byly tyto hodnoty určeny z hodnot spotřeby pro daný jízdní stupeň, ve kterém se souprava pohybuje konstantní rychlostí nebo s kladným zrychlením, uvedeným v trakční charakteristice. Pro motorový vůz byla určena přibližná spotřeba pohonných hmot na základě údajů výrobce pohonných jednotek.

Z již uvedeného vztahu (46) vychází, že při konstantní rychlosti 60 km.h^{-1} projede vlak trasu dlouhou 21 kilometrů za 0,35 h.

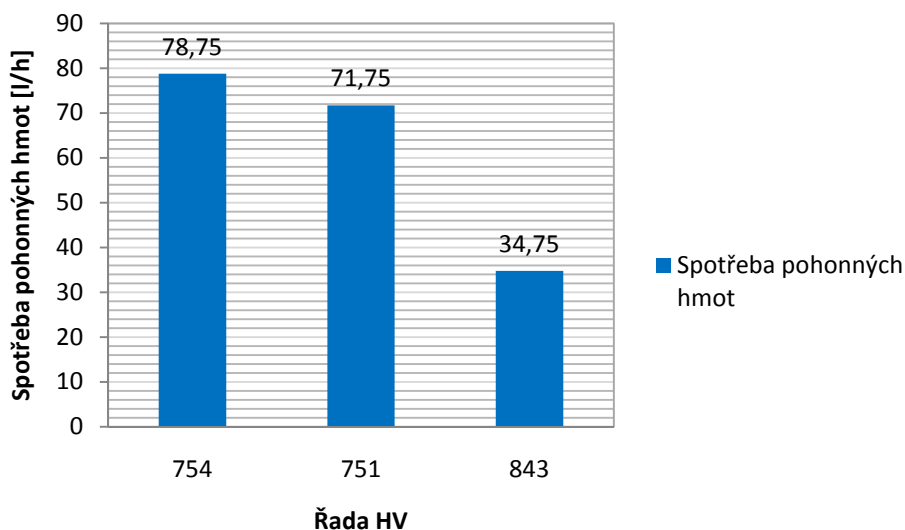
Hnací vozidlo řady 751 projede tuto trať konstantní rychlostí na šestý výkonový stupeň, což z trakční charakteristiky odpovídá spotřebě 205 litrů pohonných hmot za hodinu. Lokomotiva řady 754 udrží konstantní rychlost vlaku při 800 otáčkách za minutu spalovacího motoru. Této hodnotě odpovídá spotřeba 225 litrů pohonných hmot za hodinu.

Výrobce pohonné jednotky motorového vozu řady 843 uvádí spotřebu pohonných hmot v gramech na jednu kilowatthodinu, z toho důvodu bylo potřeba přepočítat práci nutnou k projetí trati na kilowatthodiny podle vztahu (48).

$$E = \frac{F.l}{3600} = \frac{12642,58.21}{3600} = 73,75 \text{ kW.h} \quad (48)$$

Při spotřebě 189 g pohonných hmot na jednu kW.h bude spotřebováno dvěma trakčními motory projetí požadovaného úseku trati 29,2 kg nafty, což odpovídá spotřebě 34,75 litrů nafty.

Graficky je spotřeba pohonných hmot znázorněna na Obr. 14.



Obr. 14 – Spotřeba pohonných hmot jednotlivých hnacích vozidel

Z Obr. 14 je patrné, že nejvyšší spotřebu pohonných hmot dosahuje hnací vozidlo řady 754, přestože je modernější konstrukce než řada 751, která má vyšší hodnotu vozidlového odporu. Nízká spotřeba soupravy vedené motorovým vozem řady 843 je dána opět nízkou hmotností vozidla a použitím modernějšího spalovacího motoru s menším objemem.

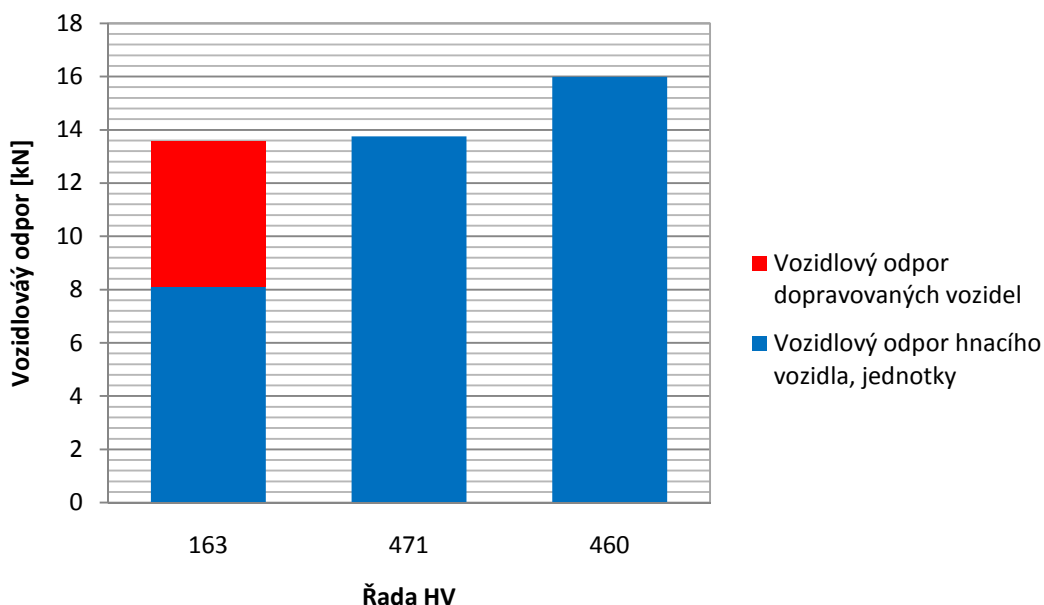
5.2 Vozidla závislé trakce

Vozidla závislé trakce jsou nasazována na tratích, které jsou ve většině případů sklonově nenáročné.

5.2.1 Osobní vlaky závislé trakce

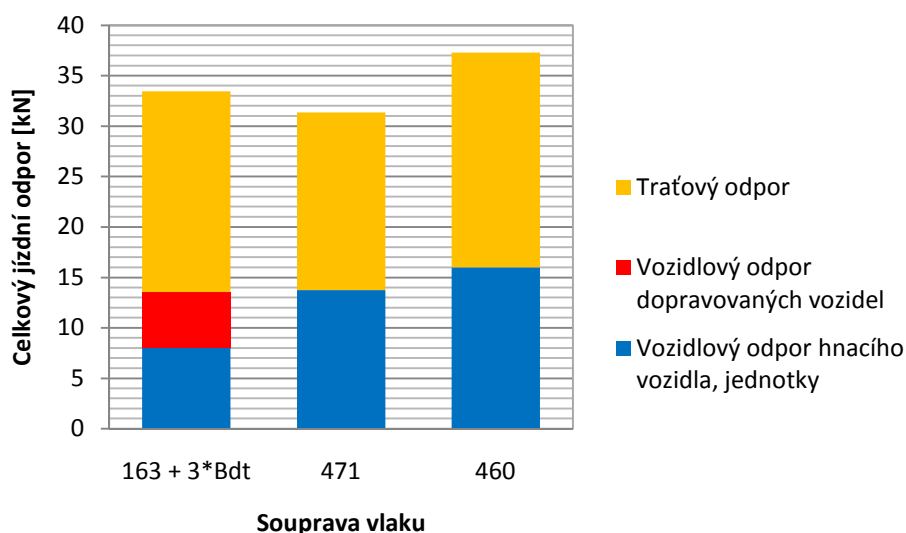
Porovnání vlivu vozidlového odporu bude provedeno mezi klasickou soupravou vedenou hnacím vozidlem řady 163 s třemi osobními vozy řady Bdt, starší elektrickou jednotkou řady 460 a modernější elektrickou jednotkou řady 471.

Z důvodu použití rovnic měrného vozidlového odporu pro celé soupravy elektrických jednotek, je do porovnání zahrnuta i celá souprava osobního vlaku klasického řazení. Grafické srovnání je uvedeno na Obr. 15.



Obr. 15 – Vozidlový odpor osobních vlaků závislé trakce

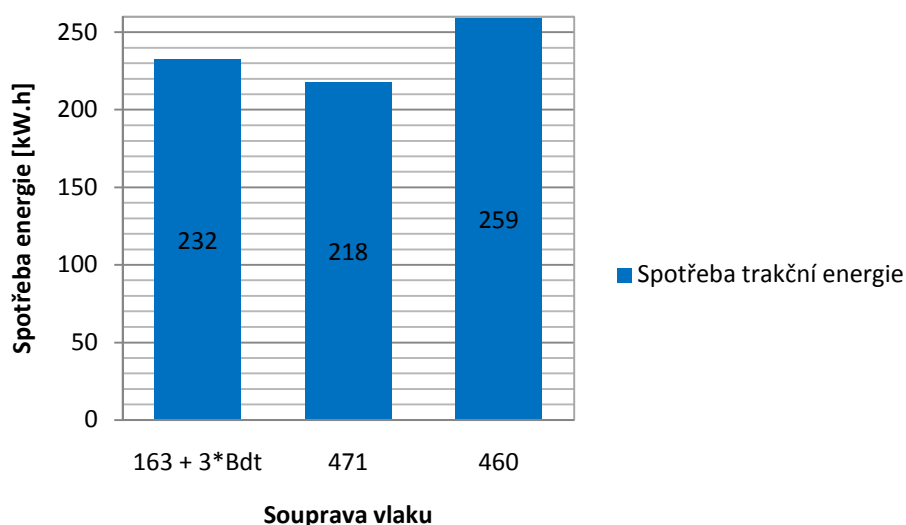
Z uvedeného srovnání je na první pohled zřejmé, že velikost vozidlového odporu klasické soupravy s hnacím vozidlem řady 163 má srovnatelnou hodnotu (13,5 kN) s hodnotou vozidlového odporu jednotky řady 471 (13,7 kN). Na tuto skutečnost má nezanedbatelný vliv použití obecného vztahu pro výpočet měrného vozidlového odporu pro elektrické jednotky uvedené v předpisu V7. Ve skutečnosti bude tato hodnota, vzhledem k modernější konstrukci této jednotky nižší. Hodnota vozidlového odporu elektrické jednotky řady 460 je do značné míry ovlivněna její vysokou hmotností a i přes nižší hodnotu měrného vozidlového odporu vychází ve srovnání s ostatními soupravami o 2 kN vyšší.



Obr. 16 – Srovnání celkového jízdního odporu osobních vlaků závislé trakce

Ze srovnání uvedeného na Obr. 16 je již nejnižší hodnota celkového jízdního odporu elektrické jednotky řady 471 (31 kN). Klasická souprava s hnacím vozidlem řady 163 má ve srovnání s jednotkou řady 471 tuto hodnotu o 2 kN vyšší. Tato skutečnost je daná především nízkou hmotností soupravy elektrické jednotky. Nejvyšší hodnotu jízdního odporu má opět elektrická jednotka řady 460 (37 kN).

Spotřeba trakční energie těchto souprav k projetí daného úseku trati konstantní rychlostí se opět bude odvíjet hodnoty celkového jízdního odporu. Grafické znázornění spotřeby trakční energie je uvedeno na Obr. 17.



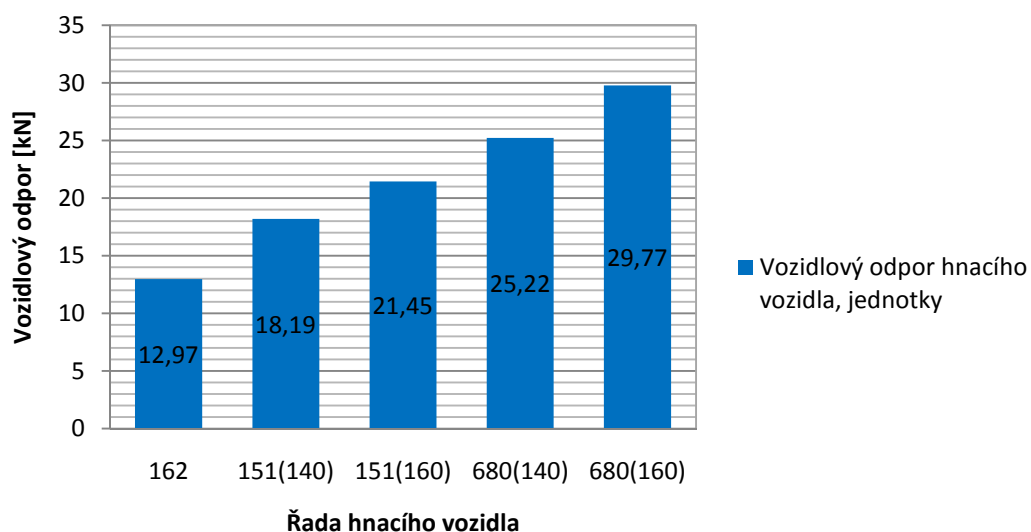
Obr. 17 – Spotřeba trakční energie osobních vlaků závislé trakce

Na uvedeném srovnání je zřejmá nízká spotřeba energie jednotky 471 daná její nízkou hmotností. V porovnání s klasickou soupravou osobního vlaku složenou z hnacího vozidla řady 163 a tří vozů řady Bdt spotřebuje jednotka řady 471 93% potřebné energie, v porovnání s jednotkou řady 460 tato hodnota činí 84%.

5.2.2 Vlaky dálkové osobní dopravy závislé trakce

Oproti rychlíkům nezávislé trakce jsou vlaky dálkové dopravy závislé trakce provozovány na tratích s mírným sklonem, kde extrémní hodnoty dosahují hodnot do 10‰. Z toho lze usuzovat, že jízdní odpor bude z větší části tvořen složkami vozidlového odporu hnacích a dopravovaných vozidel.

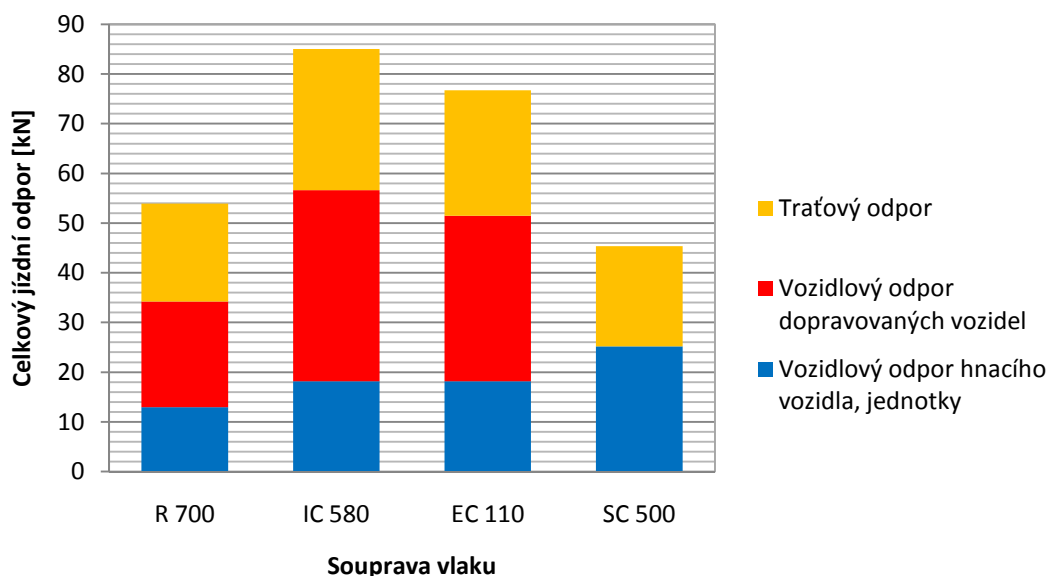
Porovnání vozidlových odporů hnacích vozidel závislé trakce bude provedeno mezi hnacími vozidly řad 162, 150.2 a 151 a elektrickou jednotkou řady 680 pro rychlosti 140 km.h^{-1} aby bylo možné objektivně posoudit vliv vozidlového odporu. Z důvodu možnosti dosažení rychlosti 160 km.h^{-1} soupravami vlaků kategorie EC a SC, byly pro hnací vozidlo řady 151 a elektrickou jednotku 680 byla určena i hodnota vozidlového odporu pro tuto rychlost.



Obr. 18 – Porovnání vlivu vozidlových odporů hnacích vozidel a jednotek závislé trakce

Z uvedeného porovnání je zřejmé, že z hnacích vozidel má díky modernější konstrukci a nižší hmotnosti menší vozidlový odpor hnací vozidlo řady 162. Vysoká hodnota vozidlového odporu elektrické jednotky řady 680 je dána výpočtem vozidlového odporu pro celou jednotku, kde se promítne především celková hmotnost jednotky. Vozidlový odpor na jedno vozidlo by při rychlosti 140 km.h^{-1} vycházel zhruba 7 kN.

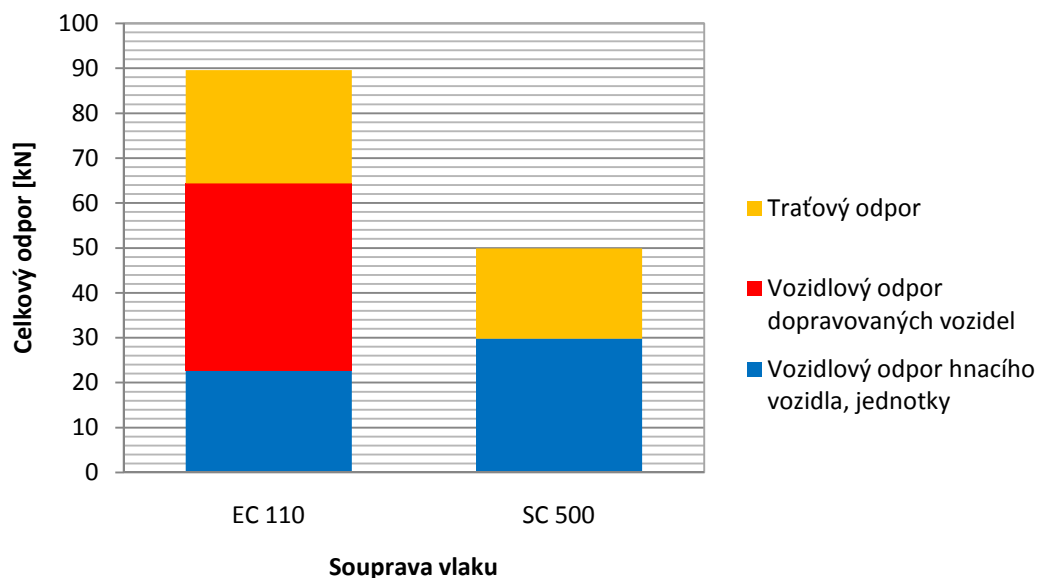
Nižší hodnota vozidlového odporu elektrické jednotky řady 680 se projeví až při porovnání všech složek celkového jízdního odporu zvolených souprav vlaků pro rychlost 140 km.h^{-1} na Obr. 19.



Obr. 19 – Porovnání složek jízdního odporu dálkových vlaků závislé trakce při $V = 140 \text{ km.h}^{-1}$

V tomto porovnání se již projevuje nízká hodnota celkového vozidlového odporu elektrické jednotky řady 680 (45 kN) oproti klasickým soupravám vlaků, která je nejnižší i přes vyšší hmotnost jednotky oproti srovnání se soupravou R 700 (54 kN). Naopak vysoká hodnota celkového vozidlového odporu souprav vlaků kategorie IC (85 kN) a EC (78 kN) je dána těžší soupravou s větším počtem dopravovaných vozidel s vyšší kapacitou cestujících.

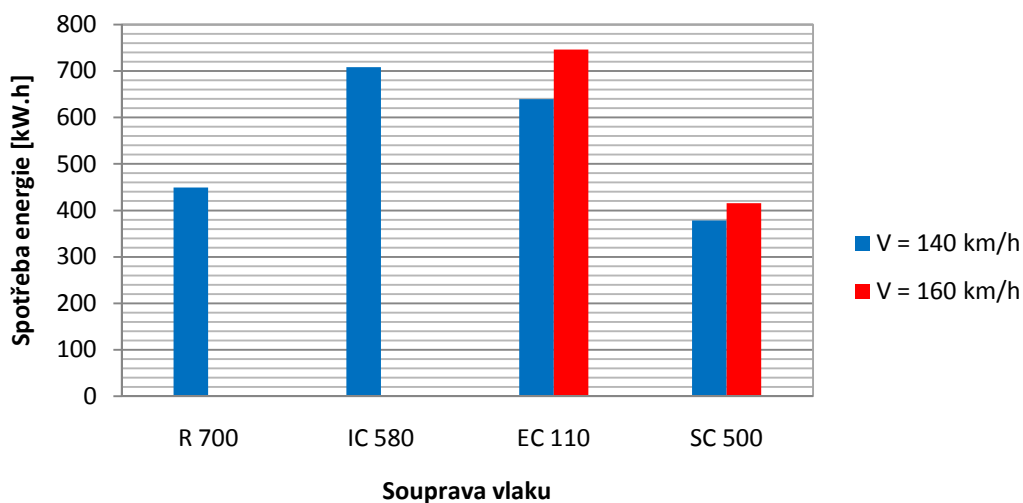
Pro porovnání provedený výpočet pro rychlost 160 km.h^{-1} . Vypočtené hodnoty složek jízdního odporu jsou uvedeny na Obr. 20.



Obr. 20 – Porovnání složek jízdního odporu dálkových vlaků závislé trakce při $V = 160 \text{ km.h}^{-1}$

V obou případech dojde k navýšení hodnoty vozidlového odporu, v případě klasické soupravy vlaku (EC 110) se hodnota vozidlového odporu navýší o 16%, u elektrické jednotky řady 680 dojde k navýšení hodnoty vozidlového odporu o 10%.

Hodnota celkového jízdního odporu se projeví i v množství spotřebované trakční energie potřebné k udržení požadované rychlosti jízdy soupravy vlaku. Grafické znázornění spotřeby trakční energie jednotlivých souprav je pro srovnání uvedeno na Obr. 21.



Obr. 21 – Spotřeba trakční energie dálkových vlaků závislé trakce

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -46-
---	-----------------------------------	-------------

Z něj je patrné, že nejnižší spotřebu trakční energie má i při rychlosti 160 km.h^{-1} elektrická jednotka řady 680 (416 kW.h), u které se patrně projeví nejnižší hodnota složky vozidlového odporu z vnějšího prostředí díky nižším hodnotám součinitele tvarového součinitele a příčné plochy vozu. Vysoká hodnota spotřeby trakční energie soupravy vlaku IC 580 (708 kW.h) je dána především vyšší hmotností dopravovaných vozidel, která je zhruba o 100 tun vyšší než v případě celkové hmotnosti elektrické jednotky 680 a o 200 tun těžší než souprava vlaku R 700. Energeticky nejméně výhodná je jízda vlaku EC 110 při rychlosti 160 km.h^{-1} , kde dojde k velkému nárůstu vozidlových odporů dopravovaných vozidel a odpovídajícímu zvýšení spotřeby trakční energie (746 kW.h).

5.3 Soupravy nákladních vlaků závislé trakce

Nákladní vlaky závislé trakce jsou provozovány na všech elektrifikovaných tratích v České republice, tudíž i na tratích sklonově náročných. Vzhledem k vyšší hodnotě náhradního sklonu zvoleného traťového úseku, bude pravděpodobně rozhodující složkou jízdního odporu právě odpor traťový.

Hmotnost dopravovaných vozidel jednotlivých souprav byla stanovena podle technického normativu hmotnosti pro průjezd žst. Rudoltice v Čechách. Technické normativy hmotnosti pro jednotlivé řady hnacích vozidel a třídy jízdních odporů jsou uvedeny v Tab. 16.

Tab. 16 – Technické normativy hmotnosti pro jednotlivé řady hnacích vozidel

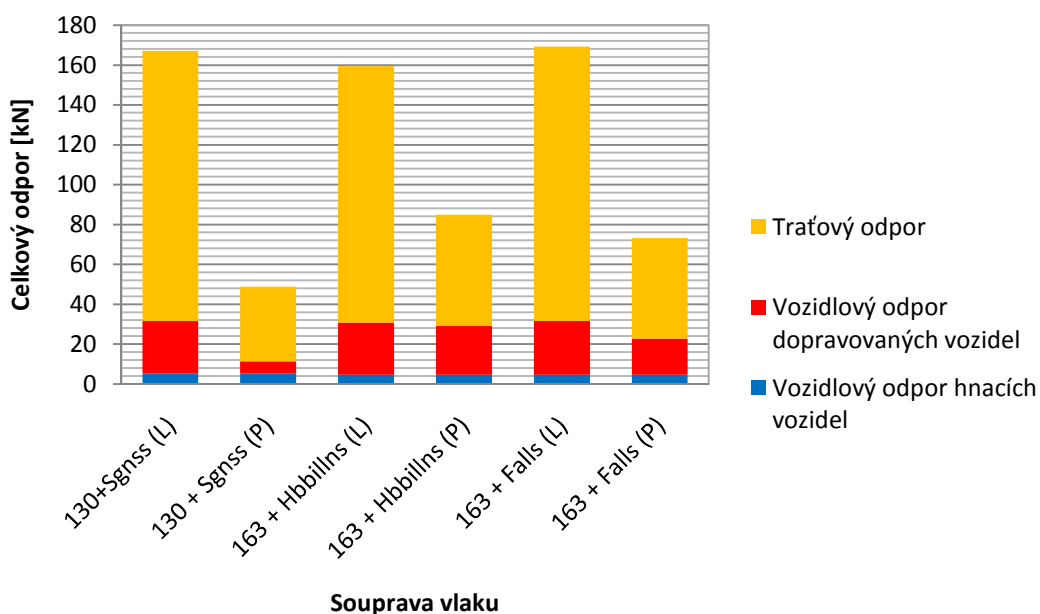
Jízdní odpor	ř. 130	ř. 163
T2	1500	1500
T4	1600	1600
U	1100	1100

Pro výpočet jízdních odporů pak bylo uvažováno s 75% možné hmotnosti v loženém stavu dopravovaných vozidel, a to z důvodu možnosti udržení přiměřené rychlosti jízdy soupravy s jedním hnacím vozidlem. Stejný počet vozů byl i při výpočtu jízdních odporů v prázdném stavu dopravovaných vozidel. Rychlost jízdy všech souprav byla stanovena na 55 km.h^{-1} . Počty vozů jednotlivých souprav jsou uvedeny v Tab. 17.

Tab. 17. – Počty dopravovaných vozidel v jednotlivých soupravách nákladních vlaků

Souprava vlaku	n	M_d [t]
130 + Sgnss (L)	13	1170
130 + Sgnss (P)	13	260
163 + Hbbillns (L)	25	1110
163+ Hbbillns (P)	25	435
163 + Falls (L)	15	1195
163+ Falls (P)	15	385

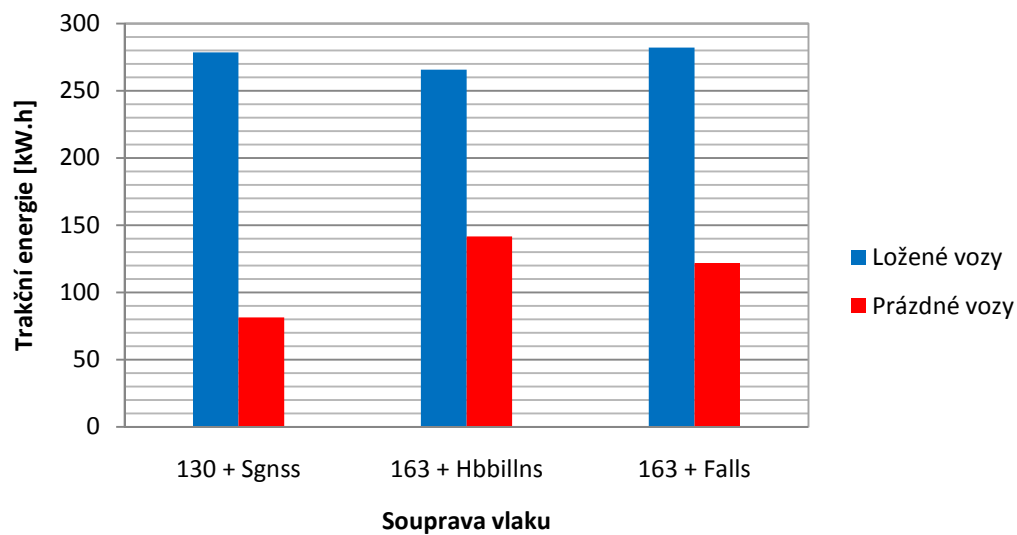
Z této tabulky je zřejmé, že díky nízké hmotnosti vozu řady Sgnss bude největší rozdíl celkového jízdního odporu mezi prázdnou a loženou soupravou kontejnerového vlaku. Jízdní odpor v loženém stavu ostatních souprav by měl být o dvě třetiny vyšší než ve stavu prázdném. Grafické znázornění podílů jednotlivých složek jízdního odporu je uvedeno na Obr. 22.



Obr. 22 – Porovnání složek jízdního odporu nákladních vlaků závislé trakce

Z tohoto porovnání plyne, že největší rozdíl hodnoty jízdního odporu je mezi loženou a prázdnou soupravou kontejnerového vlaku s vozy řady Sgnss. Naproti tomu nejmenší rozdíl vozidlového odporu v loženém a prázdném stavu je mezi soupravami tvořenými dvounápravovými vozy řady Hbbillns, z důvodu vyššího podílu hmotnosti vozu na jízdním odporu dopravovaných vozidel a vyšší hodnotou měrného vozidlového odporu, plynoucí z použití rozdílných vztahů pro prázdný a ložený stav vozu.

S hodnotami celkového jízdního odporu budou korespondovat i hodnoty spotřebované trakční energie uvedené na Obr. 23.



Obr. 23 – Spotřeba trakční energie nákladních vlaků závislé trakce

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -49-
---	-----------------------------------	-------------

6 Vliv vozidlového odporu na výpočet jízdnicích dob

V této kapitole bude porovnán vliv vozidlového odporu na výpočet jízdnicích dob nutných k projetí tratí, které byly popsány pro jednotlivé druhy souprav vlaků v kapitole 4.3.

6.1 Vozidla nezávislé trakce

6.1.1 Osobní vlaky

Výpočet jízdnicích dob osobních vlaků nezávislé trakce byl proveden pro jízdu vlaku v úseku trati 275 mezi zastávkou Náměšť na Hané a stanicí Olomouc město. Uvažováno bylo zastavení vlaku ve všech stanicích a zastávkách. Při výpočtu bude porovnána jízdnicí doba motorové jednotky řady 814, souprava motorového vozu řady 810 s jedním přípojným vozem řady 010 a klasická souprava s hnacím vozidlem řady 749 a dvěma přípojnými vozy řady Bdt.

Nízká hmotnost motorové jednotky spojená s nízkou hodnotou měrného vozidlového odporu řady 814 ve srovnání s motorovým vozem řady 810 povede k menšímu vlivu vozidlového odporu na výpočet jízdnicích dob. Klasická souprava vlaku vedená hnacím vozidlem řady 749 kvůli vysoké hodnotě měrného vozidlového odporu dané starší konstrukcí hnacího vozidla a kvůli vysoké hmotnosti ve srovnání s motorovými vozy bude mít za následek vyšší hodnotu celkového vozidlového odporu. Vzhledem k několikanásobně vyššímu výkonu tohoto hnacího vozidla se tato skutečnost na výpočtech jízdnicích dob výrazněji neprojeví. Stupňovitá regulace výkonu však zapříčiní kolísání rychlosti jízdy okolo maximální dovolené traťové rychlosti. Doba potřebná k zastavení souprav motorového vozu řady 810 a motorové jednotky řady 814 bude mít oproti klasické soupravě menší hodnotu díky menší hmotnosti motorových vozů.

Grafický průběh rychlosti jízdy zvolených souprav je uvedeno na Obr. 24.



Obr. 24 – Průběh rychlosti jízdy souprav osobních vlaků po trati 275

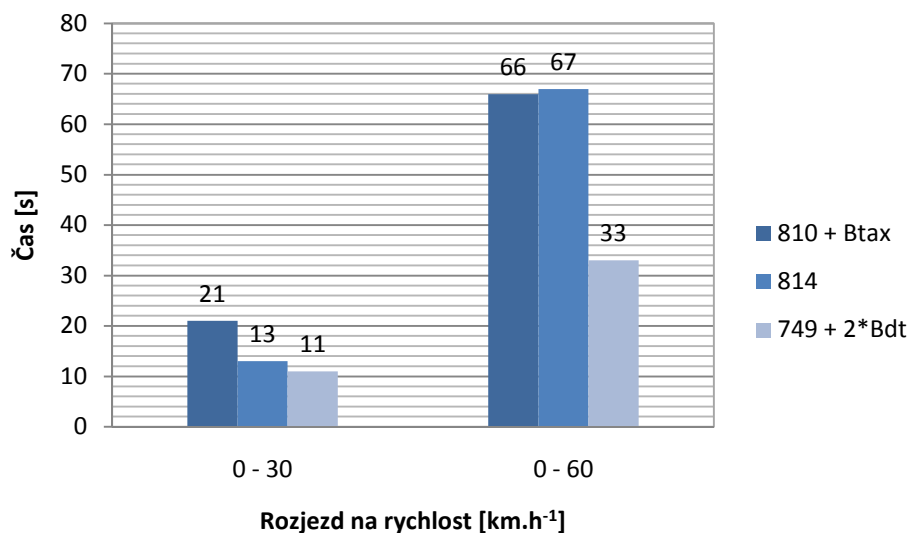
Z uvedených průběhů rychlostí jízdy je zřejmý rozdíl mezi plynulou regulací výkonu souprav motorového vozu a jednotky, které jsou po dosažení hodnoty traťové rychlosti udržovány na této hodnotě oproti soupravě vedené hnacím vozidlem řady 749, u které dochází vlivem zmíněné stupňovité regulace výkonu ke kolísání rychlosti v extrémních hodnotách zhruba o 2 km.h⁻¹.

Dále je z tohoto srovnání zřejmé, že hodnoty celkových jízdních dob budou vzhledem k podobným průběhům rychlosti jízdy u všech souprav stejné a pohybují se okolo hodnoty 24 min.

Doba potřebná k rozjezdu jednotlivých souprav se odvíjí od velikosti vozidlového odporu v nízkých rychlostech jízdy a strmosti jeho nárůstu během rozjezdu v poměru s vyvinutou tažnou silou na obvodu kol. Z těchto předpokladů lze usuzovat, že nejkratší dobu potřebnou k rozjezdu z klidu na traťovou rychlost bude potřebovat souprava vedená hnacím vozidlem řady 749. Rozdíl v jízdních dobách nutných k rozjezdu z klidu na 30 km.h⁻¹ mezi motorovým vozem řady 810 a jednotkou řady 814 bude ovlivněn nižší hodnotou měrného vozidlového odporu jednotky řady 814 a vyšší hodnotou tažné síly v nízkých rychlostech. Tento rozdíl se však s přibývajícím rychlostí vzhledem ke strmějšímu nárůstu hodnoty vozidlového odporu motorové

jednotky řady 814 a klesající hodnotou vyvinuté tažné síly zmenšuje a při rozjezdu na rychlost 60 km.h^{-1} se již neprojevív.

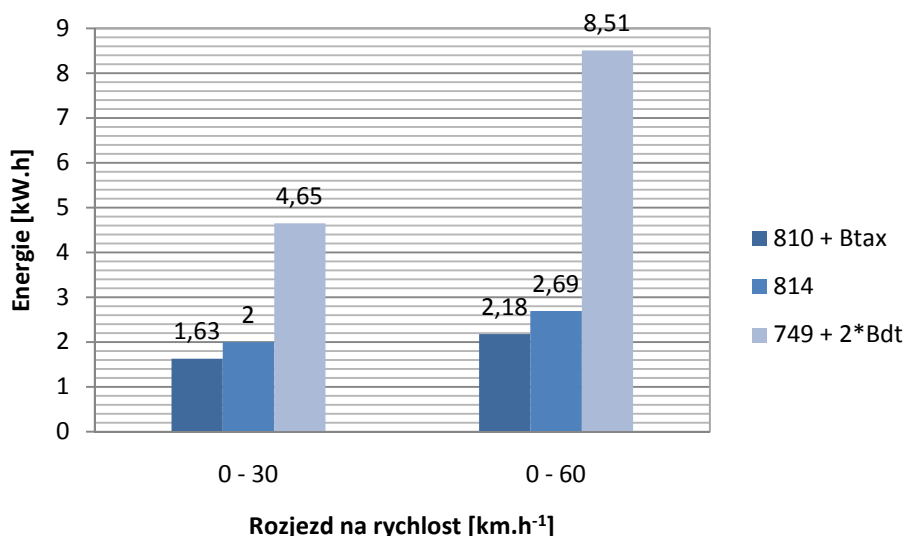
Grafické porovnání doby potřebné k rozjezdu souprav vlaků na dané traťové rychlosti je uvedeno na Obr. 25.



Obr 25. – Porovnání doby rozjezdu pro dané řady hnacích vozidel

Velikost tažné síly vyvinuté při rozjezdu bude ovlivňovat i velikost energie nutné pro rozjezd na požadovanou rychlost. I přes krátkou dráhu, kterou urazí souprava vedená hnacím vozidlem řady 749, potřebnou k rozjezdu na traťovou rychlost se projeví několikanásobně vyšší tažná síla, která zapříčiní několikanásobný nárůst spotřeby trakční energie nutné k rozjezdu. Energetická náročnost rozjezdu motorového vozu řady 810 a jednotky řady 814 bude v obou případech traťových rychlostí stejná díky stejné střední hodnotě tažné síly vyvinuté po dobu rozjezdu. V případě hnacího vozidla řady 749 bude tato hodnota, vzhledem v několikanásobně vyšší hodnotě tažné síly, vyšší i přes kratší dráhu nutnou k rozjezdu.

Grafické znázornění spotřeby trakční energie je uvedeno na Obr. 26.



Obr. 26 – Spotřeba trakční energie daných souprav pro rozjezd na uvedenou rychlost

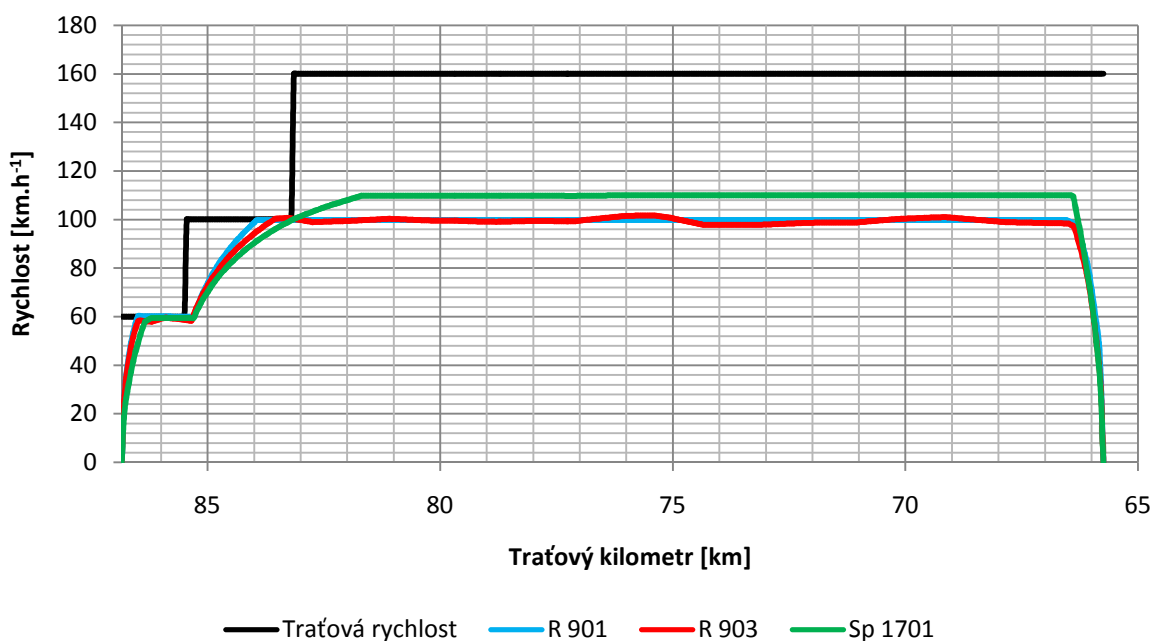
Z tohoto srovnání je zřejmé, že spotřeba trakční energie k rozjezdu soupravy vozu řady 810 a jednotky 814 jsou pro obě rychlosti takřka stejné. Oproti tomu hnací vozidlo řady 749 spotřebuje pro rozjezd na rychlost 30 km.h⁻¹ i 60 km.h⁻¹ takřka třikrát více energie.

6.1.2 Spěšné vlaky a rychlíky nezávislé trakce

Vliv vozidlového odporu na jízdní doby स्पěšných vlaků a rychlíků nezávislé trakce byl posouzen na úseku trati 270 mezi stanicemi Olomouc hlavní nádraží a Červenka. Při výpočtu bylo uvažováno s rozjezdem souprav ze stanice Olomouc hlavní nádraží a zastavení ve stanici Červenka. Soupravy byly použity stejné jako při rozboru vlivu jednotlivých jízdních odporů.

Rozdíl jízdních dob mezi soupravami vlaků R 901 a R 903, vzhledem k totožné hmotnosti dopravovaných vozidel a s tím související stejné hodnotě vozidlového odporu, nebude velký. Projeví se však zřejmě vliv vozidlového odporu hnacích vozidel a především pak vliv stupňovité regulace výkonu hnacího vozidla řady 749, což stejně jako v předchozí kapitole povede ke kolísání rychlosti jízdy okolo maximální dovolené rychlosti jízdy tohoto vozidla. Větší rozdíl jízdní doby však nelze očekávat ani ve srovnání se soupravou vlaku Sp 1701 i přes nižší hmotnost soupravy a tím i nižší hodnoty vozidlového odporu. V tomto případě se projeví nižší výkon motorového vozu řady 843.

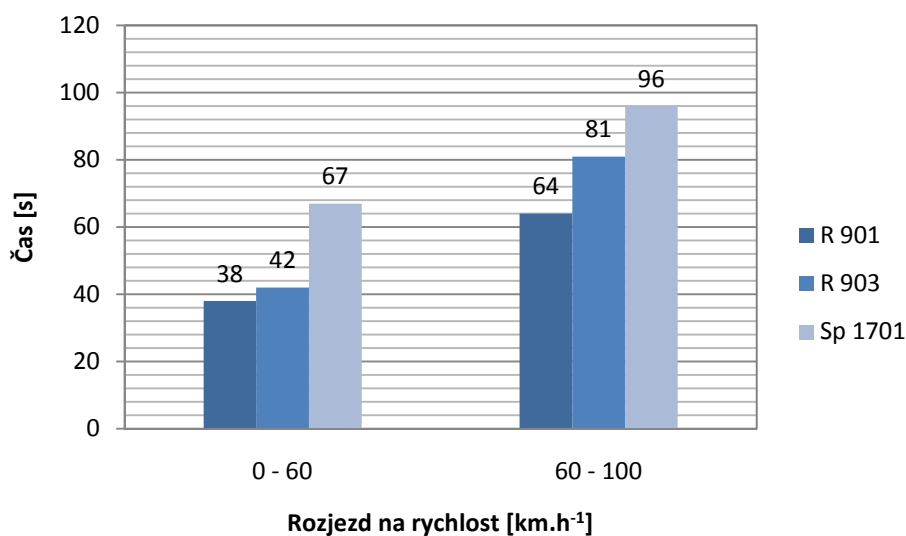
Grafické znázornění průběhu rychlosti jízdy je uvedeno na Obr. 27.



Obr. 27 – Grafické znázornění průběhu rychlosti jízdy

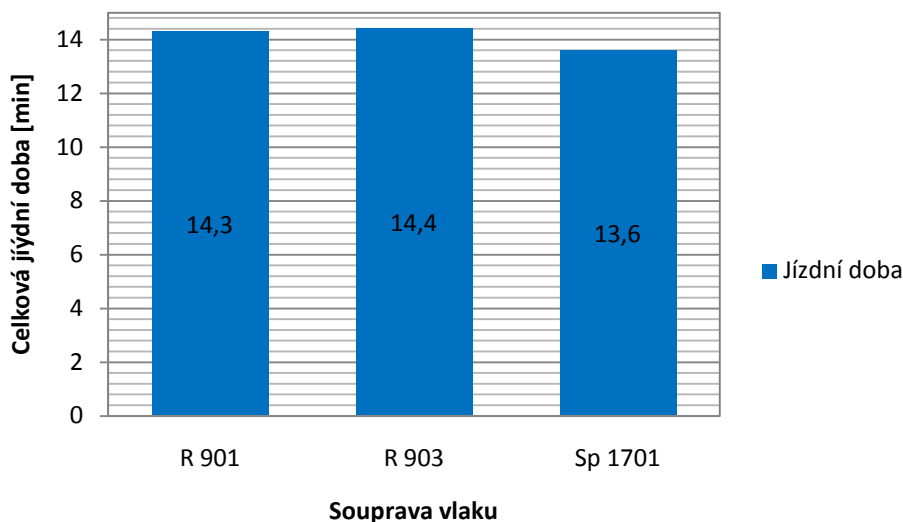
Hlavní vliv na jízdní dobu potřebnou k rozjezdu jednotlivých souprav na rychlost 60 km.h^{-1} bude mít především vyvinutá tažná síla hnacího vozidla, protože v nízkých rychlostech se vliv vozidlového odporu jednotlivých souprav výrazně neprojevuje. V případě souprav vlaků R 901 a R 903 tento rozdíl vzhledem ke srovnatelné hodnotě trvalé tažné síly není velký. Nárůst jízdní doby potřebné k rozjezdu vlaku Sp 1701 na tuto rychlost je dán právě nízkou hodnotou tažné síly vyvinuté motorovým vozidlem řady 843.

Výraznější rozdíl v jízdních dobách nastane při zrychlení souprav z rychlosti 60 km.h^{-1} na 100 km.h^{-1} . V porovnání souprav vlaků R 901 a R 903 se již projeví nárůst vozidlového odporu hnacího vozidla, který je v rychlosti 100 km.h^{-1} u řady hnacího vozidla 749 o 3 kN vyšší než u hnacího vozidla řady 754. Tato skutečnost, ve spojení s nižším výkonem hnacího vozidla řady 749, povede k nárůstu jízdní doby vlaku R 903. Oproti tomu rozdíl v jízdní době nutné k rozjezdu vlaku Sp 1701 již nebude tak výrazný jako v případě rozjezdu z klidu na rychlost 60 km.h^{-1} . V tomto případě se již projeví nižší hodnota vozidlového odporu motorového vozu řady 843 a přípojních vozů řady Btn. Grafické znázornění jízdních dob je uvedeno na Obr. 28.



Obr. 28 – Porovnání jízdních dob potřebných k rozjezdu na danou rychlost

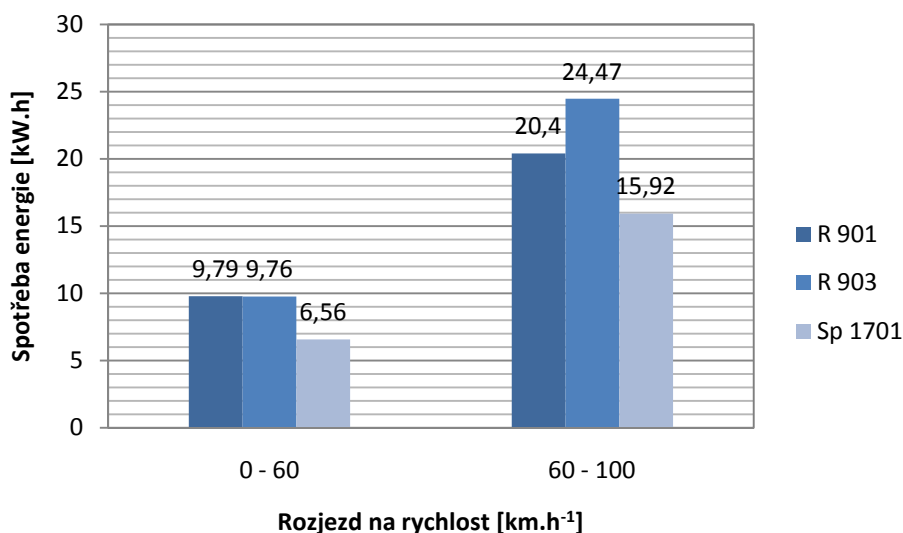
Výše uvedené rozdíly v jízdních dobách nutných pro rozjezd jednotlivých souprav se na celkové jízdní době výrazněji neprojeví. Delší doba nutná k rozjezdu soupravy vedené motorovým vozem řady 843 bude vyvážena vyšší maximální rychlostí jízdy této soupravy (110 km.h⁻¹) oproti zbylým vlakům (100 km.h⁻¹). Grafické znázornění jízdních dob nutných k projetí celého úseku je uvedeno na Obr. 29.



Obr. 29 – Porovnání celkových jízdních dob

Z hlediska spotřeby trakční energie je rozjezd daných souprav vlaků na rychlost 60 km.h⁻¹ energeticky nejnáročnější v případě vlaků R 901 a R 903, z důvodu vysoké hodnoty vyvinuté tažné síly. Souprava vedená motorovým vozem řady 843 spotřebuje v porovnání se zbylými soupravami 67% potřebné trakční energie.

Větší rozdíly ve spotřebě trakční energie se projeví při zrychlení daných souprav z rychlosti 60 km.h^{-1} . Nejvyšší spotřebu bude mít souprava vedená hnacím vozidlem řady 749 (24,5 kW.h), u které se projeví vysoká hodnota měrného vozidlového odporu ve vyšších rychlostech jízdy a nižší hodnota tažné síly. V případě soupravy s hnacím vozidlem řady 754 tento nárůst spotřeby nebude tak výrazný (20,4 kW.h). Velký vliv na tuto skutečnost bude mít nižší hodnota měrného vozidlového odporu a kratší dráha nutná k urychlení soupravy vlaku na požadovanou rychlost. Nejmenší množství trakční energie spotřebuje souprava vedená motorovým vozem řady 843, u které se projeví nízká hmotnost soupravy spolu s nižší hodnotou tažné síly. V porovnání s vlakem R 901 spotřebuje 78% potřebné energie, oproti soupravě s hnacím vozidlem řady 749 sníží hodnotu spotřebované energie o 35%.



Obr. 30 – Spotřeba energie rychlíků nezávislé trakce

6.2 Vozidla závislé trakce

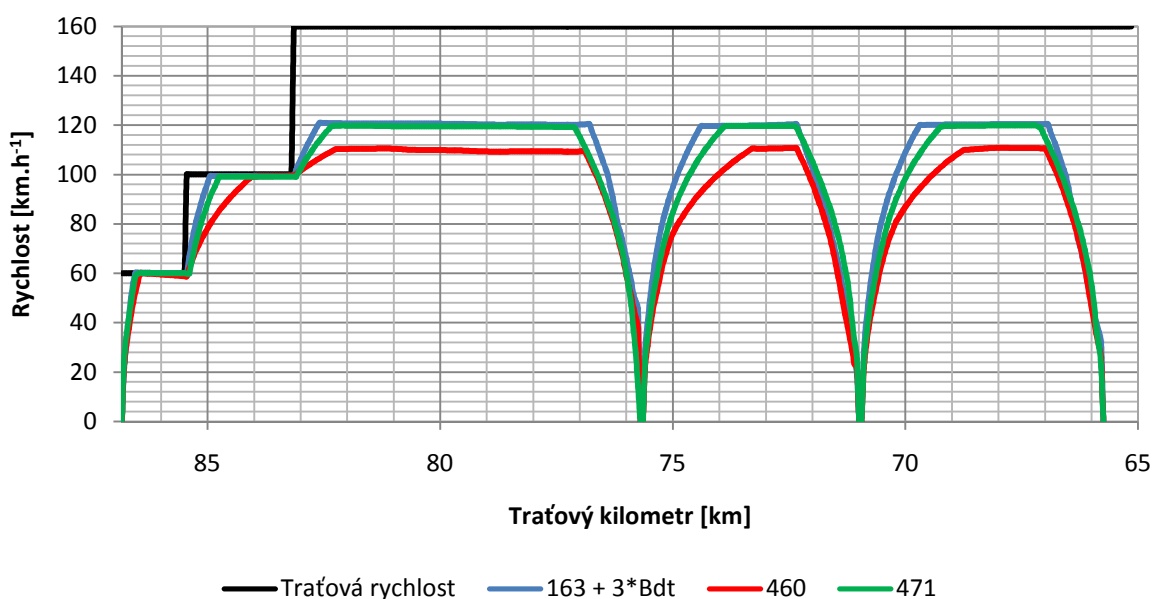
6.2.1 Osobní vlaky závislé trakce

Délka jízdních dob osobních vlaků závislé trakce byla vypočtena pro rozjezd soupravy ze stanice Olomouc hlavní nádraží po zastavení ve stanici Červenka. Porovnána byla opět jedna souprava klasického řazení s hnacím vozidlem řady 163 a přípojnými vozy řady Bdt a dvou elektrických jednotek řad 460 a 471.

Vzhledem k nízké hmotnosti, modernější konstrukci a vyšší dovolené maximální rychlosti je předpoklad, že nejkratší jízdní dobu v daném úseku bude schopna dosáhnout elektrická jednotka řady 471. Naopak elektrická jednotka řady 460 kvůli omezení maximální rychlosti jízdy na $V = 110 \text{ km.h}^{-1}$ a nízkému výkonu trakčních

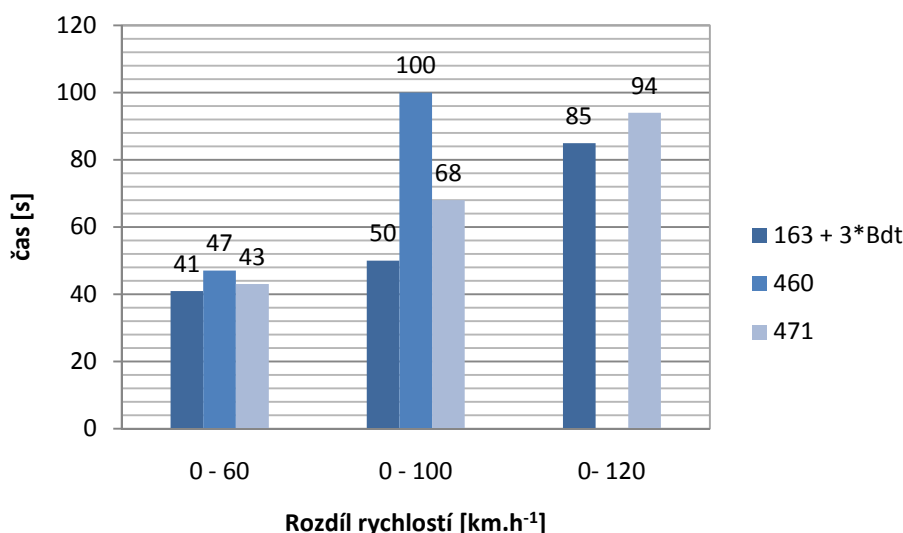
motorů a s tím spojené nižší možné síle vyvinuté na obvodu kola, bude mít za následek pomalejší rozjezdy soupravy na požadovanou rychlost. Tyto faktory patrně povedou k prodloužení jízdních dob této řady. Klasická souprava osobního vlaku s hnacím vozidlem řady 163 bude patrně mít díky vysoké síle na obvodu kola vyšší možnou hodnotu zrychlení, která povede ke zkrácení rozjezdu soupravy na dovolenou traťovou rychlost.

Grafické znázornění průběhu rychlosti jízdy zvolených souprav je uvedeno na Obr. 31.



Obr. 31 – Průběh rychlosti jízdy zvolených souprav

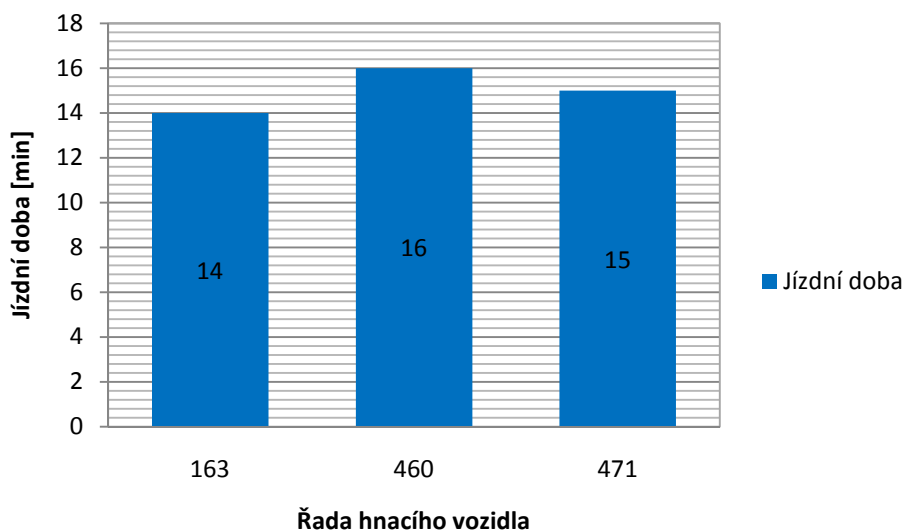
Grafické porovnání doby potřebné k rozjezdu soupravy na požadovanou rychlost jízdy je uvedeno na Obr. 32.



Obr. 32 – Srovnání doby rozjezdu na danou rychlost

Vliv vozidlového odporu na dobu rozjezdu se v tomto případě projeví méně než hodnota výkonu trakčních motorů, což je nejvíce vidět v případě elektrické jednotky řady 460, která potřebuje v porovnání se soupravou hnacího vozidla řady 163 a tří vozů Bdt pro rozjezd na rychlost 100 km.h⁻¹ o 50 s delší dobu. Rozdíl doby rozjezdu na nižší rychlost (60 km.h⁻¹) není tak výrazný z důvodu udržení trvalé tažné síly jednotkou řady 460. Klasická souprava s hnacím vozidlem řady 163 zkrátí dobu rozjezdu na tuto rychlost na 87% doby potřebné pro rozjezd elektrické jednotky řady 460. Rozdíl doby nutné k rozjezdu elektrické jednotky řady 471 oproti klasické soupravě s hnacím vozidlem řady 163 na rychlost 60 km.h⁻¹ bude takřka totožný díky udržení trvalé tažné síly do této rychlosti a pozvolným nárůstem hodnoty vozidlového odporu. V případě rozjezdu na rychlost 100 km.h⁻¹ se projeví vyšší hodnota tažné síly hnacího vozidla řady 163 a jízdní doba potřebná k rozjezdu na tuto rychlost bude v případě jednotky řady 471 o 18 s kratší. Naopak při rozjezdu na rychlost 120 km.h⁻¹ se již projeví nárůst hodnoty vozidlového odporu, především dopravovaných vozů řady Bdt a zkrácení jízdní doby již nebude tak výrazné (9 s).

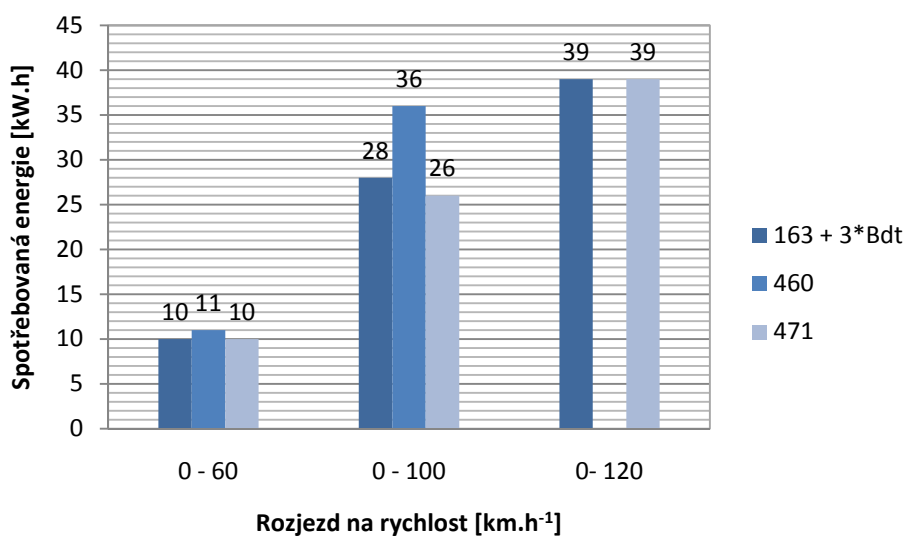
Tyto skutečnosti se projeví i na celkové jízdní době v daném úseku trati. Z grafického znázornění, uvedeného na Obr. 33, je zřejmé, že souprava hnacího vozidla řady 163 se třemi vozy Bdt ujede tento úsek o dvě minuty rychleji než elektrická jednotka řady 460. Elektrická jednotka řady 471 projede tuto trasu o jednu minutu rychleji než elektrická jednotka řady 460 a o minutu pomaleji než klasická souprava vlaku s hnacím vozidlem řady 163.



Obr. 33 – Srovnání jízdních dob osobních vlaků závislé trakce

Vliv vozidlového odporu se u vlaků osobní dopravy závislé trakce projeví především při porovnání spotřeby trakční energie. Vzhledem k nízkému výkonu trakčních motorů elektrické jednotky 460 a vyšší hodnotě poměru vozidlového odporu k tažné síle na obvodu kol bude zapotřebí udržovat vysokou hodnotu této síly na delší dráze než v případě ostatních souprav. Tato skutečnost se projeví právě na spotřebě trakční energie. Pro rozjezd na rychlost $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ spotřebuje souprava osobního vlaku s hnacím vozidlem řady 163 ve srovnání s elektrickou jednotkou řady 460 77% potřebné trakční energie. Ve srovnání s jednotkou řady 471 je tato spotřeba ještě o 5% nižší. Rozjezd soupravy hnacího vozidla řady 163 a jednotky řady 471 na rychlost $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ je pak z energetického hlediska stejně náročný.

Grafické znázornění spotřeby trakční energie pro rozjezd souprav je uvedeno na Obr. 34.



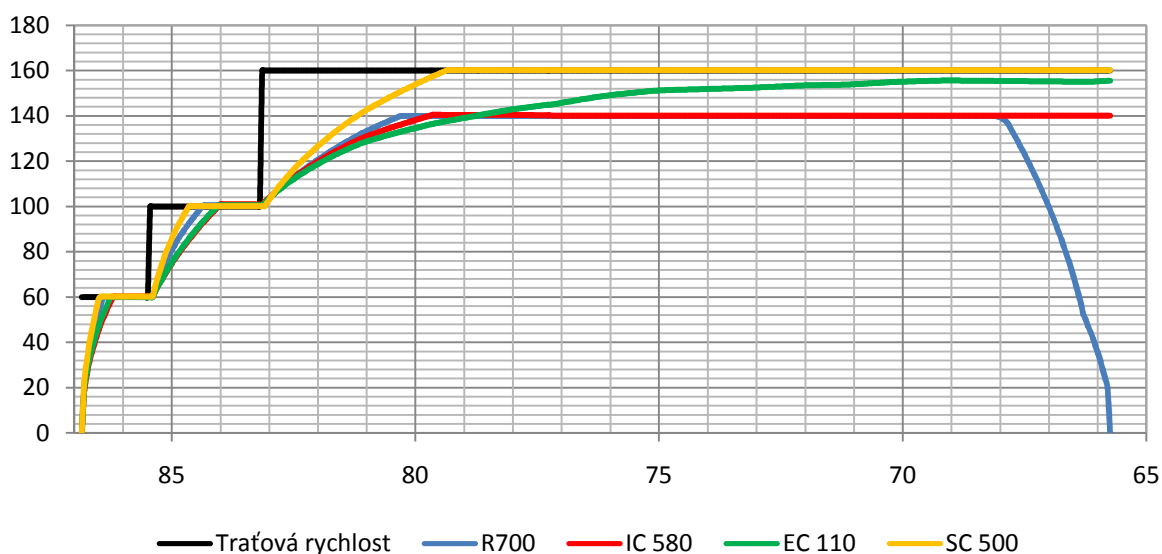
Obr. 34 – Spotřeba trakční energie pro rozjezd na danou rychlost

6.2.2 Vlaky dálkové dopravy závislé trakce

Vliv vozidlových odporů na jízdní doby dálkových vlaků závislé trakce bude opět posouzen na úseku trati 270 mezi stanicemi Olomouc hlavní nádraží a Červenka. Stejně jako při rozboru vlivu jednotlivých složek jízdního odporu, budou i v této kapitole porovnány soupravy vlaků kategorie R, IC, EC a SC popsané v kapitole 4.3. Při výpočtu jízdní doby bude uvažováno zastavení vlaku R 700 ve stanici Červenka.

V tomto úseku patrně dosáhne nejkratší jízdní doby souprava elektrické jednotky řady 680, vzhledem k nízké celkové hmotnosti, nízké hodnotě měrného vozidlového odporu i při rychlostech nad 100 km.h⁻¹ a maximální rychlosti jízdy 160 km.h⁻¹. Naopak nejdelší jízdní dobu potřebnou k projetí daného úseku trati bude potřebovat souprava vlaku R 700 vzhledem k zastavení ve stanici Červenka.

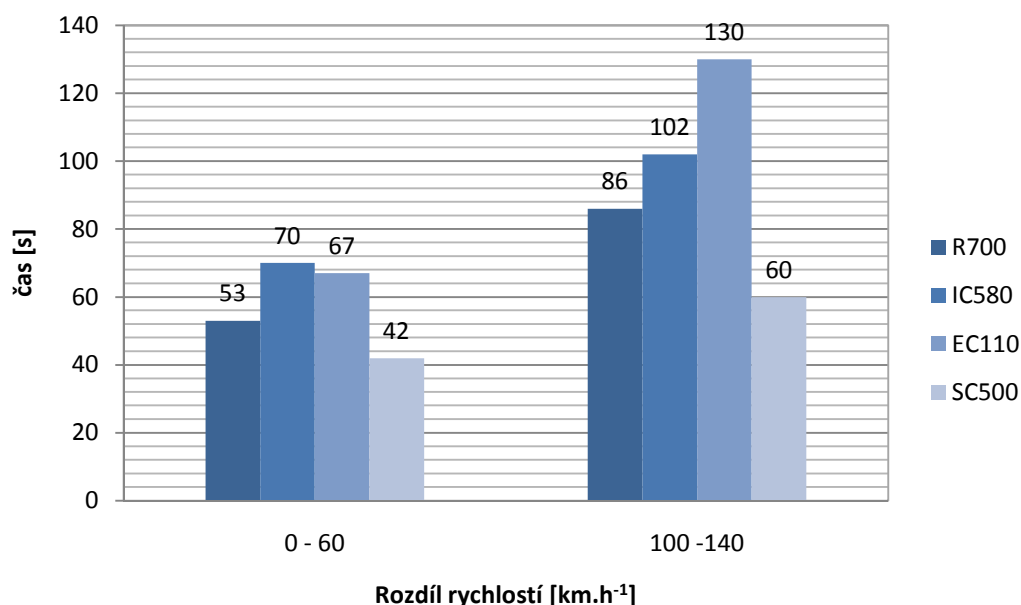
Grafické znázornění průběhu rychlosti jízdy zvolených souprav je uvedeno na Obr. 35.



Obr. 35 – Průběh rychlosti jízdy zvolených souprav

Z uvedeného průběhu rychlostí jízdy je zřejmé, že vliv vozidlového odporu se projeví nejvýznamněji u soupravy vlaku EC 110, která, vzhledem k velikosti vozidlového odporu dopravovaných vozidel, nedosáhne povolené traťové rychlosti a v závislosti na hodnotě sklonu trati se ustálí okolo hodnoty 155 km.h^{-1} . Tato skutečnost v reálných podmínkách nemusí zcela platit, z důvodu použití stejné rovnice měrného vozidlového odporu při výpočtu pro dopravovaná vozidla bez ohledu na konstrukci vozu. Je předpoklad, že vozidlový odpor moderních vozů řady Ampz, WRmz a Bee řazených v této soupravě bude mít ve vyšších rychlostech jízdy nižší hodnotu a hnací vozidlo řady 151 tak vyvine dostatečnou tažnou sílu na dosažení traťové rychlosti. Aby však hnací vozidlo řady 151 udrželo požadovanou rychlost jízdy, bude potřeba vyvíjet velkou tažnou sílu po celé délce měřeného úseku trati. Tato skutečnost se projeví především ve spotřebě trakční energie, která zřejmě bude několikanásobně vyšší než v případě ostatních souprav.

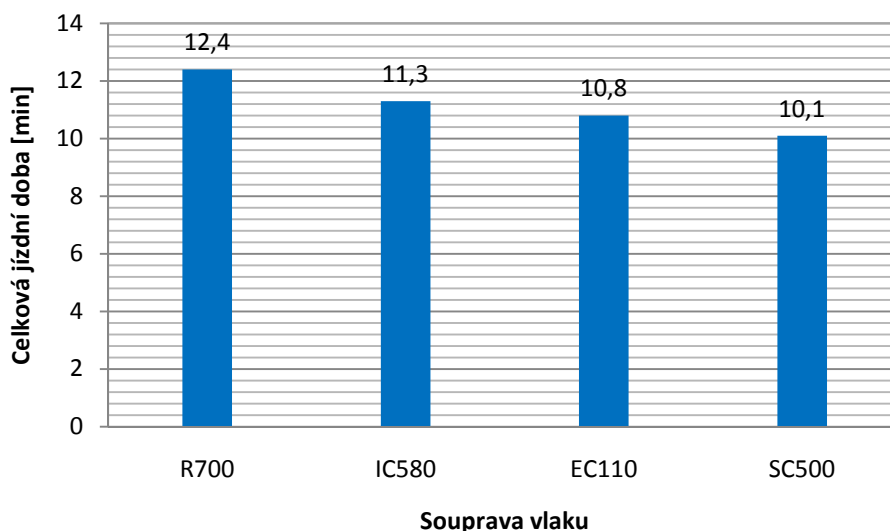
Porovnání jízdních dob potřebných na rozjetí souprav vlaků s klidu na rychlost 60 km.h^{-1} a dále z rychlosti 100 km.h^{-1} na 140 km.h^{-1} je uvedeno na Obr. 36.



Obr. 36 – Srovnání dob nutných pro rozjezd na dané rychlosti

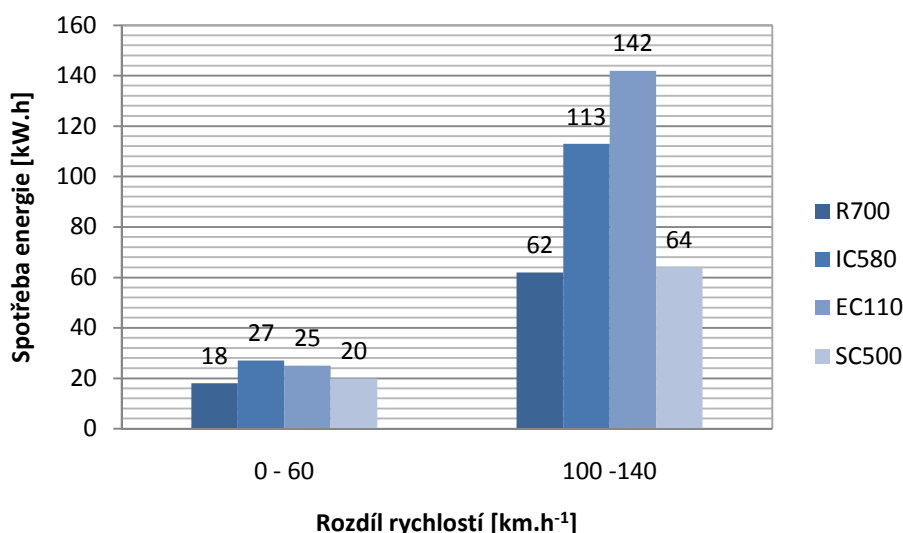
Na základě tohoto srovnání je zřejmé, že nejvíce se vliv vozidlového odporu projeví mezi soupravami vlaků EC 110 a elektrickou jednotkou řady 680 při rozjezdu na rychlost 140 km.h^{-1} i přes stejný výkon hnacího vozidla řady 151 a elektrické jednotky řady 680 je potřeba poloviční doba pro rozjezd elektrické jednotky na tuto rychlost. Rozdíl jízdních dob mezi soupravami vlaků IC 580 a EC 110 je dán vyšší hmotností dopravovaných vozidel vlaku EC 110. Jízdní doba potřebná pro rozjezd souprav na rychlost 60 km.h^{-1} je u souprav vedených hnacím vozidlem řady 151 srovnatelná, vlak R 700 dosáhne této rychlosti rychleji vzhledem k nižší hmotnosti soupravy. Nejrychleji se na tuto rychlost opět rozjede elektrická jednotka řady 680 díky vyšší trvalé tažné síle.

Porovnání celkových jízdních dob je uvedené na Obr. 37. Z něj plyne, že nejdelší jízdní dobu na tomto úseku trati dosáhne souprava vlaku R 700 z důvodu zastavení ve stanici Červenka. Rozdíly v jízdních dobách nejsou výrazné z důvodu krátkého úseku trati. Největší rozdíl jízdní doby je mezi vlakem R 700 a elektrickou jednotkou řady 680, který má hodnotu 2,3 min. Jízdní doby vlaků s hnacím vozidlem řady 151 jsou srovnatelné i přes těžší soupravu vlaku EC110 a s ní spojenou delší dobou rozjezdu na požadovanou rychlost.



Obr. 37 – Porovnání celkových jízdních dob

Dále byl opět posouzen vliv vozidlového odporu na spotřebu trakční energie daných souprav vlaků. V tomto srovnání se opět projeví nízká hodnota měrného vozidlového odporu elektrické jednotky řady 680 a vysoká trvalá tažná síla. Tyto charakteristiky povedou ke snížení ujeté dráhy nutné k dosažení požadované rychlosti a s ní spojenou nižší spotřebou trakční energie. Naproti tomu bude mít nepříznivý vliv vysoká hodnota vozidlového odporu dopravovaných vozidel soupravy vlaku EC 110 při rychlostech okolo hodnoty $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, která bude mít za následek potřebu vyvinutí maximální možné tažné síly hnacího vozidla řady 151. Tato skutečnost povede k velkému navýšení spotřebované trakční energie v porovnání s ostatními soupravami vlaků. Grafické znázornění hodnot spotřebované trakční energie je uvedeno na Obr. 38.



Obr. 38 – Srovnání spotřeby trakční energie

Z uvedeného srovnání je zřejmé, že rozdíly ve spotřebované trakční energii nutné pro rozjezd všech souprav na rychlost 60 km.h⁻¹ jsou srovnatelné. Významné rozdíly jsou zřetelné až při zvyšování rychlosti jízdy na 140 km.h⁻¹. Nejmenší rozdíl ve spotřebě trakční energie je mezi soupravou vlaku R 700 a elektrickou jednotkou řady 680 díky nižší hmotnosti dopravovaných vozidel vlaku R 700. Naproti tomu největší rozdíl spotřebované energie je mezi soupravou vlaku EC 110 a elektrickou jednotkou řady 680 z důvodů již zmíněné vysoké hodnoty vozidlového odporu dopravovaných vozidel, která vede k potřebě udržení vysoké tažné síly hnacího vozidla ve vysokých rychlostech jízdy.

6.2.3 Nákladní vlaky závislé trakce

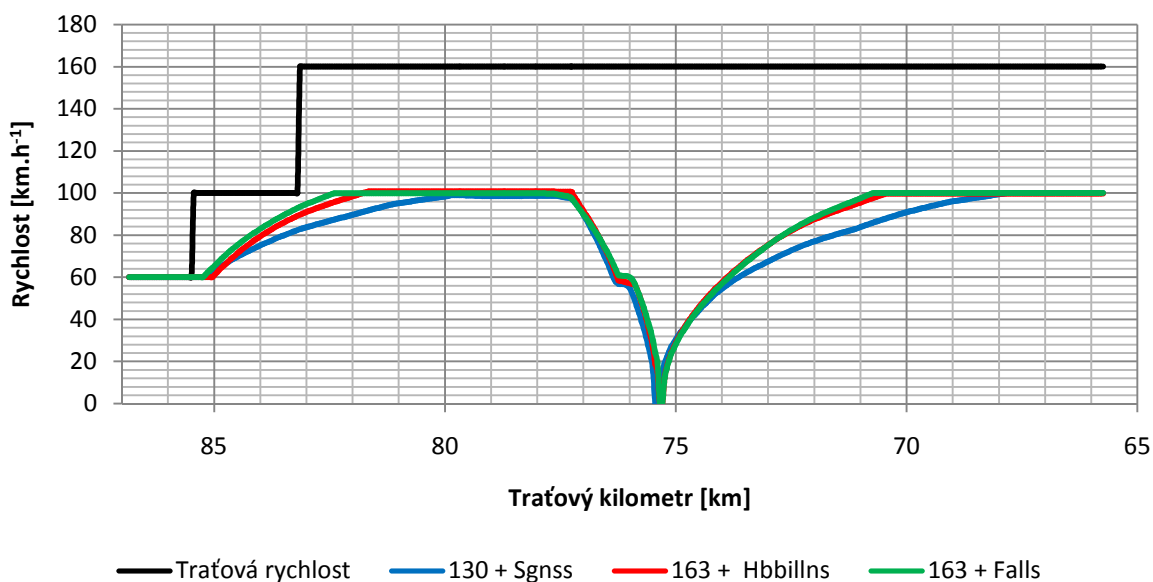
Délka jízdních dob nákladních vlaků byla spočtena, stejně jako v předchozích případech, na úseku trati 270 mezi stanicí Olomouc hlavní nádraží a stanicí Červenka s rozdílem, že soupravy projíždějí stanicí Olomouc hlavní nádraží a na trase zastaví pouze ve stanici Štěpánov z důvodu předpokládaného předjetí rychlejším vlakem. Soupravy vlaků jsou shodné se soupravami popsány v kapitole 4.3. Při výpočtu budou porovnávány samostatně soupravy ložené a soupravy prázdné.

Nejdelší dobu potřebnou k projetí tohoto úseku trati zřejmě dosáhne souprava loženého kontejnerového vlaku s hnacím vozidlem řady 130 a to z důvodu nižšího výkonu trakčních motorů hnacího vozidla a vysoké hmotnosti dopravovaných vozidel. Zbylé soupravy nákladních vlaků budou mít srovnatelnou jízdní dobu díky přibližně

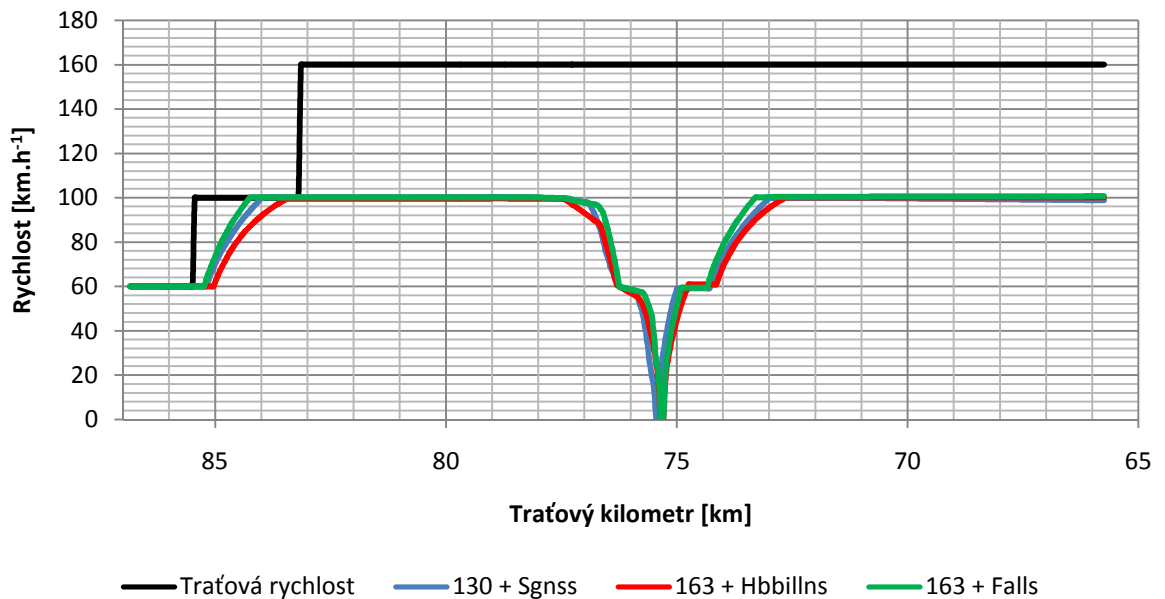
stejně celkové hodnotě hmotnosti dopravovaných vozidel a stejné řadě hnacího vozidla.

Prázdné soupravy nákladních vlaků patrně dosáhnou shodných jízdních dob. U soupravy prázdného kontejnerového vlaku bude tato hodnota ovlivněna nižším výkonem hnacího vozidla řady 130. V případě ucelené soupravy vozů řady Hbbillns s hnacím vozidlem řady 163 se projeví vyšší hodnota měrného vozidlového odporu dopravovaných vozidel.

Grafická znázornění průběhu rychlostí jízdy nákladních vlaků jsou uvedeny na Obr. 39 a Obr 40.

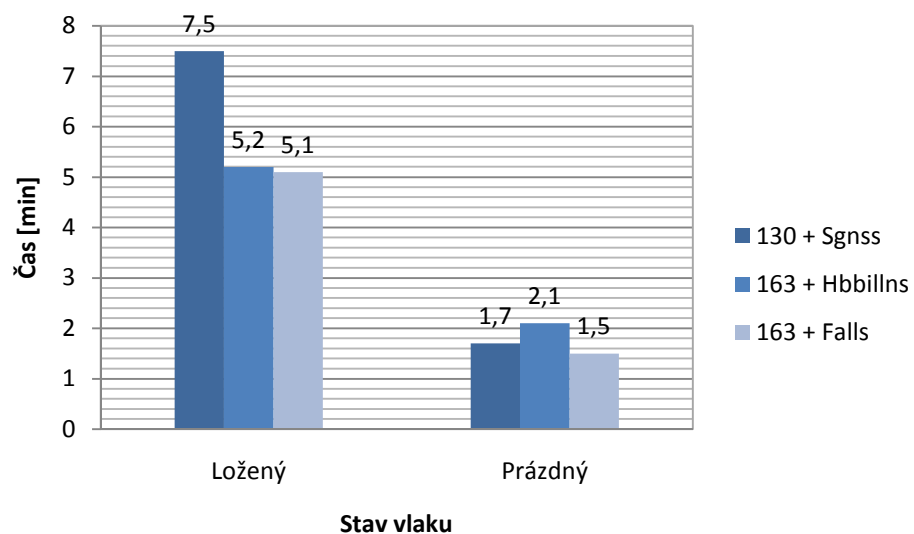


Obr. 39 – Průběh rychlosti jízdy ložených nákladních vlaků



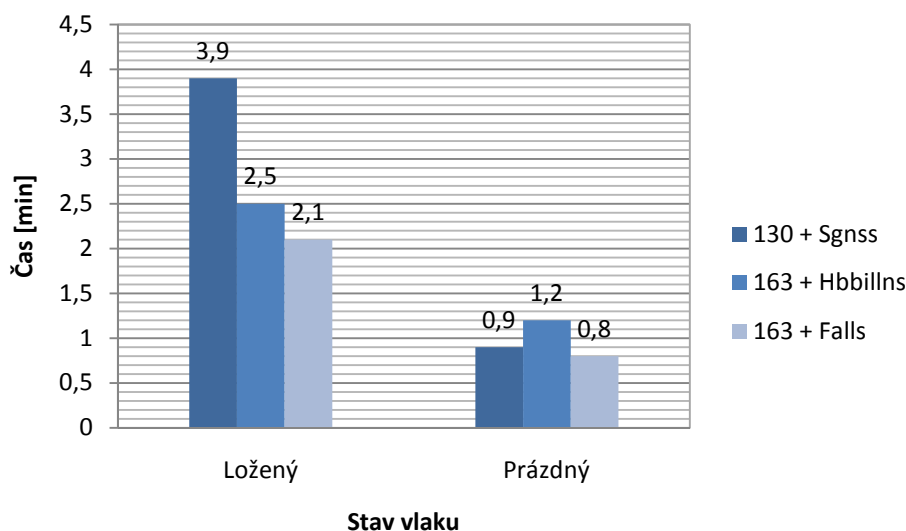
Obr. 40 – Průběh rychlosti jízdy prázdných nákladních vlaků

Na Obr. 41 jsou znázorněny jízdní doby potřebné k rozjezdu jednotlivých nákladních vlaků z klidu na rychlost 100 km.h^{-1} . Z tohoto srovnání je zřejmý výrazný rozdíl mezi dobou rozjezdu soupravy loženého kontejnerového vlaku v porovnání se zbylými soupravami ložených vlaků, které k rozjezdu na tuto rychlost potřebují o 1,5 minuty kratší jízdní dobu, což představuje 68% doby potřebné k rozjezdu kontejnerového vlaku. Tento rozdíl je dán pouze nižším výkonem hnacího vozidla řady 130, protože zvolené soupravy mají přibližně stejnou hmotnost.



Obr. 41 – Porovnání jízdních dob nutných k rozjezdu z klidu na 100 km.h^{-1}

Stejný rozdíl jízdnicích dob se projeví i při rozjezdu vlaků z rychlosti 60 km.h^{-1} na rychlost 100 km.h^{-1} . Oproti předchozímu srovnání se zvětší rozdíl jízdnicích dob mezi soupravou kontejnerového vlaku a ucelenou soupravou vozů Falls, která potřebuje pouze 54% potřebné jízdnicí doby kontejnerového vlaku pro rozjezd na 100 km.h^{-1} . Grafické znázornění je uvedeno na Obr. 42.

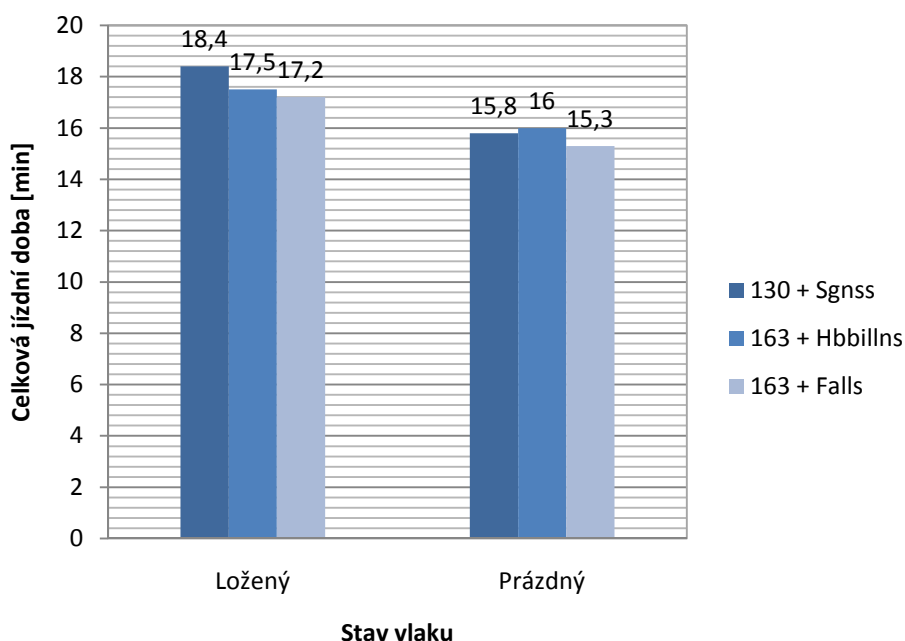


Obr. 42 – Porovnání jízdnicích dob nutných k rozjezdu z 60 km.h^{-1} na 100 km.h^{-1}

Po srovnání průběhů rychlostí ložených nákladních vlaků je zřejmé, že nejvíce se hodnota vozidlového odporu v souvislosti s nízkým výkonem trakčních motorů hnacího vozidla řady 130 projeví u soupravy kontejnerového vlaku s vozy Sgnss pozvolným nárůstem rychlosti jízdy. V porovnání souprav tažených hnacím vozidlem řady 163 se na délce rozjezdu na požadovanou rychlost nejvíce projeví rozdíl v použitém vztahu pro výpočet měrného vozidlového odporu dopravovaných vozidel i přes nižší hmotnost dopravovaných vozů řady Hbbillns se tato souprava na požadovanou rychlost rozjede na delší dráze.

V případě souprav s prázdnými vozy se nejvýrazněji projeví vyšší hodnota vozidlového odporu dopravovaných vozidel v porovnání se zbylými soupravami a vyšší hmotnosti plynoucí z většího počtu dopravovaných vozidel.

Grafické znázornění jízdnicích dob nákladních vlaků je uvedeno na Obr. 43.



Obr. 43 – Srovnání jízdních dob nákladních vlaků

Z tohoto srovnání je, že v případě ložených nákladních vlaků je největší rozdíl jízdních dob pouze 1,2 minuty z důvodu delšího rozjezdu na požadovanou rychlost v případě soupravy kontejnerového vlaku. Jízdní doby vlaků tažených hnacím vozidlem řady 163 jsou stejně dlouhé. Jízdní doby prázdných nákladních vlaků jsou pak takřka totožné.

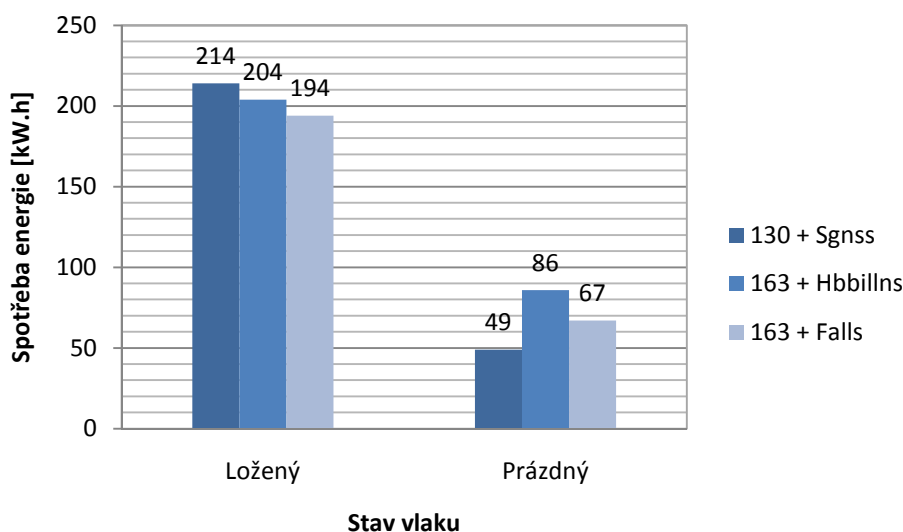
Z hlediska spotřeby trakční energie nebudou rozdíly mezi jednotlivými soupravami ložených vlaků tak velké jako v případě jízdních dob. I přes delší dráhu nutnou k rozjezdu na rychlost $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ soupravy kontejnerového vlaku s hnacím vozidlem řady 130 se projeví nižší hodnota síly vyvinuté na obvodu kol. Naproti tomu soupravy vedené hnacím vozidlem řady 163 sice neujedou tak dlouhou dráhu, ale vyvinou větší sílu na obvodu díky vyššímu výkonu.

Tato skutečnost se výrazně projeví ve spotřebované trakční energii nutné pro rozjezd prázdných vlaků. Největší rozdíl v hodnotách spotřebované energie je mezi soupravou prázdného kontejnerového vlaku a soupravou prázdných vozů řady Hbbillns. Hnací vozidlo řady 130 v tomto případě spotřebuje 53% potřebné trakční energie. Při porovnání se soupravou prázdných vozů Falls je tato hodnota 73%.

Spotřeba trakční energie nutné pro rozjezd loženého nákladního vlaku bude úměrná přírůstku hmotnosti dopravovaných vozidel a nejvýrazněji se projeví u soupravy kontejnerového vlaku s hnacím vozidlem řady 130, u kterého je spotřeba trakční energie čtyřnásobně vyšší než u prázdného vlaku. Tato skutečnost je dána

především velkým rozdílem v hodnotě vozidlového odporu dopravovaných vozidel a nízkým výkonem hnacího vozidla řady 130, což bude mít za následek nutnost vyvinutí vysoké hodnoty tažné síly na dlouhé dráze. V případě souprav tažených hnacím vozidlem řady 163 je spotřeba trakční energie pro rozjezd soupravy ložených vozů řady Falls třikrát vyšší, v případě vozů Hbbillns dvakrát vyšší z důvodu vyšší hodnoty měrného vozidlového odporu prázdných vozů této konstrukce.

Grafické znázornění spotřeby trakční energie je uvedeno na Obr. 44.

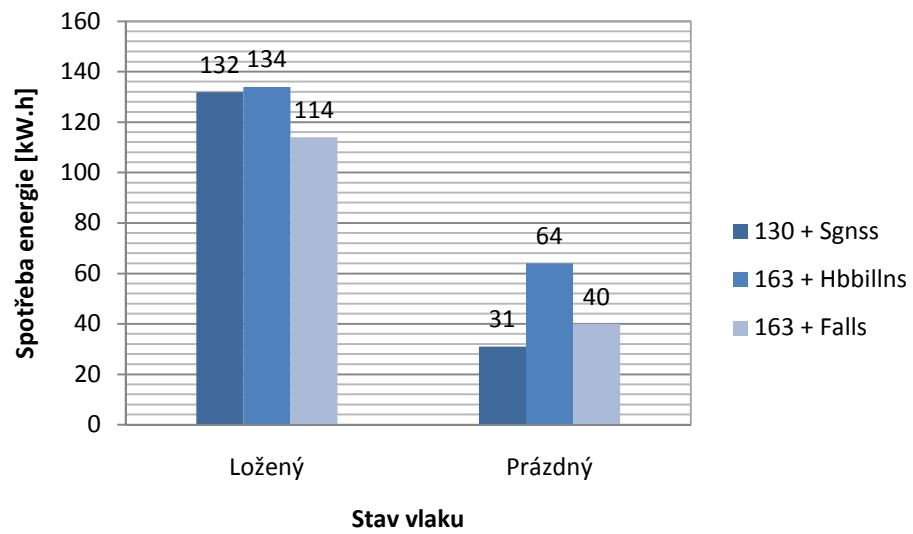


Obr. 44 – Spotřeba trakční energie pro rozjezd z klidu na 100 km.h^{-1}

Při zvýšení rychlosti jízdy z 60 km.h^{-1} na 100 km.h^{-1} se vliv vozidlového odporu projeví opět především mezi soupravami prázdných vozů. Vyšší hodnota měrného vozidlového odporu vozů řady Hbbillns spolu s jejich větší hmotností ve srovnání s ostatními soupravami bude mít za následek použití vyšší tažné síly na delší dráze ve srovnání se zbylými vlaky. Prázdný kontejnerový vlak tak spotřebuje 48% trakční energie ve srovnání se soupravou vozů Hbbillns, ucelená souprava vozů Falls pak 62% potřebné trakční energie.

Jako v předchozím případě bude spotřeba trakční energie nutné pro zvýšení rychlosti jízdy souprav ložených vlaků úměrná přírůstku hmotnosti dopravovaných vozidel. Z tohoto důvodu je největší rozdíl ve spotřebě mezi soupravami kontejnerového vlaku, která je u loženého vlaku čtyřikrát vyšší. V případě zbylých souprav je tato hodnota dvakrát vyšší u soupravy vozů Hbbillns a třikrát vyšší u soupravy vozů Falls.

Grafické porovnání je uvedeno na Obr. 45.



Obr. 45 – Spotřeba trakční energie pro rozjezd z 60 km.h^{-1} na 100 km.h^{-1}

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -70-
---	-----------------------------------	-------------

7 Závěr

V této bakalářské práci byl posouzen vliv vozidlového odporu na trakční výpočty, především délku jízdnicích dob a spotřebu trakční energie. Toto posouzení bylo provedeno na dvou tratích pomocí vybraných souprav osobních i nákladních vlaků. Výpočty jízdnicích dob osobních vlaků nezávislé trakce byly provedeny pro úsek trati 275 mezi zastávkou Náměšť na Hané a stanicí Olomouc Město. Výpočty zbylých souprav vlaků byly provedeny na úseku trati 270 mezi stanicemi Olomouc a Červenka.

V prvních dvou kapitolách této práce jsou teoreticky popsány jednotlivé složky jízdnicího odporu a způsoby experimentálního měření hodnoty vozidlového odporu a součinitele rotačních hmot. V kapitole 4 je popsán způsob určení rovnic měrného vozidlového odporu vybraných hnacích vozidel použitých k porovnání vlivu vozidlového odporu. Dále byl v této kapitole popsán způsob výpočtu jízdnicích dob a spotřeby trakční energie. V závěru této kapitoly je popsán princip určení sklonových a směrových poměrů zvolených tratí. Rozbor vlivu jednotlivých jízdnicích odporů zvolených kategorií vlaků byl proveden v kapitole 5. Výpočet jízdnicích dob jednotlivých souprav osobních a nákladních vlaků na zvolených tratích byl proveden v šesté kapitole.

Na závěr této práce lze napsat, že vliv vozidlového odporu se projeví jak při výpočtech jízdnicích dob, tak i na spotřebě trakční energie. V případě osobních vlaků nezávislé trakce se tento vliv projeví především při rozjezdu zvolených souprav. K největšímu zkrácení jízdnicí doby nutné k rozjezdu dojde, i přes vysokou hodnotu vozidlového odporu, v případě soupravy s hnacím vozidlem řady 749, ovšem za cenu vysokého nárůstu spotřebované energie. Jízdnicí doby souprav motorového vozu řady 810 a jednotky 814 pak budou srovnatelné, což bude mít za následek i srovnatelnou spotřebu trakční energie.

V kategorii rychlíků a spěšných vlaků nezávislé trakce má nejhorší parametry jak z hlediska délky jízdnicí doby, tak i z hlediska spotřeby energie souprava vlaku s hnacím vozidlem řady 749, u které se projeví vysoká hodnota podílu vozidlového odporu ve vyšších rychlostech jízdy spojená s nižší hodnotou tažné síly. Tyto faktory mají za následek nejdelší jízdnicí dobu i největší spotřebu trakční energie ze zvolených souprav. Naproti tomu nejvýhodnější vlastnosti z hlediska trakčních výpočtů má souprava spěšného vlaku s motorovým vozem řady 843. I přes delší dobu nutnou k rozjezdu na traťovou rychlost danou nízkou hodnotou tažné síly dosáhne nejkratší jízdnicí doby v daném úseku trati díky vyšší maximální dovolené rychlosti jízdy.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -71-
---	-----------------------------------	-------------

V porovnání se zbylými soupravami vlaků spotřebuje zhruba o třetinu nižší hodnotu trakční energie díky menší hodnotě vozidlového odporu ve vyšších rychlostech jízdy.

V případě souprav osobních vlaků závislé trakce vliv vozidlového odporu projeví především ve vyšších rychlostech jízdy. Jízdní doby v případě klasické soupravy a elektrické jednotky řady 471 jsou srovnatelné, jednotka řady 460 tuto dobu prodlouží z důvodu nižší maximální dovolené rychlosti jízdy a delší doby nutné k rozjezdu na traťovou rychlost kvůli vyšší hodnotě vozidlového odporu ve vyšších rychlostech a nízkou hodnotou tažné síly. Od této skutečnosti se odvíjí i spotřeba trakční energie, která je u klasické soupravy a elektrické jednotky řady 471 srovnatelná i při rozjezdu na rychlost $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. V případě jednotky řady 460 je tato hodnota vyšší, z důvodu již uvedené vyšší hodnoty vozidlového odporu.

V kategorii dálkových vlaků závislé trakce se hodnota vozidlového odporu projeví především při rychlosti jízdy nad $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Rozdíly v délce jízdních dob nejsou výrazné, v extrémním případě činí jednu minutu. V těchto rychlostech se však již výrazně projeví především nárůst hodnoty odporu vnějšího prostředí. Tato skutečnost bude mít vliv na spotřebu trakční energie a v případě vlaku EC 110 bude mít i za následek nedostatek tažné síly hnacího vozidla řady 151 nutné k dosažení traťové rychlosti. Z tohoto důvodu bude z hlediska energetické náročnosti tato souprava nejméně hospodárná, z důvodu nutnosti jízdy s vysokou hodnotou tažné síly.

Porovnání vlivu vozidlového odporu na jízdní doby a spotřebu trakční energie souprav nákladních vlaků bylo provedeno zvláště pro ložené a prázdné soupravy. Vliv vozidlového odporu na ložené soupravy nákladních vlaků se projeví jak na jízdní dobu, tak i na spotřebu trakční energie. Vzhledem ke stejným vztahům pro výpočet měrného vozidlového odporu dopravovaných vozidel, bude mít rozhodující vliv na velikost vozidlového odporu dopravovaných vozidel jejich hmotnost. V případě prázdných souprav nákladních vlaků se projeví vyšší hodnota měrného vozidlového odporu dvounápravových nákladních vozů, což povede k vyšší hodnotě vozidlového odporu. Tato skutečnost se projeví na delší jízdní době této soupravy a s ní související vyšší spotřebě trakční energie.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Jiří Navrátil BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -72-
---	-----------------------------------	-------------

8 Seznam použité literatury

- [1] HERZÁŇ, František, HABARADA, Dušan, MRKVIČKA, Jan. *Mechanika dopravy koľajových vozidel*. Praha: NDS, 1989.
- [2] ČÁP, Jaroslav, FREIBAUER, Ladislav, HLAVŇA, Vladimír. *Teorie vozidel*. Bratislava: Alfa, 1985.
- [3] *Trakční výpočty*. Předpis ČSD V7. Praha: NDS, 1980.
- [4] *Trakční charakteristiky hnacích vozidel*. Praha: NDS, 1980.
- [5] Atlas lokomotiv, [on-line], dostupné na WWW: <http://www.atlaslokomotiv.net>
- [6] Katalog nákladních vozů ČD Cargo, [on-line], dostupné na WWW: vozy.cdcargo.cz
- [7] Katalog osobních vozů. ČD SR 52, 2003.
- [8] Údaje výrobce motorů TEDOM, [on-line], dostupné na WWW: http://www.nor-blin.com.pl/pliki/Prospekt_Motory_ang.pdf
- [9] Údaje výrobce motorů LIAZ, [on-line], dostupné na WWW: http://www.liaz.cz/galerie/motory_galerie/mot07.jpg