

**Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera**

**Vliv nerovnoměrnosti průběhu traťové rychlosti
na jízdní doby a spotřebu energie**

Michal Kuna

**Bakalářská práce
2010**

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal KUNA**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Kolejová vozidla**
Název tématu: **Vliv nerovnoměrnosti průběhu traťové rychlosti na jízdní doby a spotřebu energie**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

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

Provést rozbor vlivů vstupujících do výpočtů jízdních dob a spotřeby energie. Sestavení vlaků různých kategorií a parametrů a zpracování vybraných traťových úseků pro výpočty. Vypočítat jízdní doby vybraných vlaků s variací důležitých vstupních parametrů. Vypracujte:

1. Porovnání hlavních parametrů vybraných zástupců lokomotivou tažených vlaků (osobní a nákladní) a jednotek.
2. Provedení výpočtů při různých provozních podmínkách (omezení rychlosti, adheze).
3. Zhodnocení cestovní rychlosti a energetické náročnosti jednotlivých kategorií vlaků.

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

Seznam odborné literatury:

- [1] HERZÁŇ, F.; HABARDA, D.; MRKVIČKA, J.: Mechanika dopravy kořajových vozidel, NDS, Praha, 1989.
- [2] ŠIROKÝ, J.: Mechanika v dopravě I. Kolejová vozidla. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004.
- [3] Trakční výpočty, ČSD V7, NDS, Praha, 1982.
- [4] ŽM - Atlas vozidel, 2003-2005.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Kohout**
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **26. února 2010**
Termín odevzdání bakalářské práce: **31. května 2010**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesaf, CSc.
vedoucí katedry

dne

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 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou, nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 27. 5. 2010

Michal Kuna

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Kohoutovi za pomoc a rady při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá vlivem nerovnoměrnosti průběhu traťové rychlosti na jízdní doby a spotřebu trakční a brzděné energie. Tyto veličiny jsou porovnávány pro různé kategorie vlaků a různé lokomotivy na dané trati ve stavu před a po rekonstrukci. K porovnání lokomotiv mezi sebou a k posouzení změny rychlostního profilu trati po rekonstrukci je v práci vytvořen porovnávací koeficient. Část práce je věnována vlivu různých adhezních podmínek na jízdní doby a spotřebu energie.

Klíčová slova

Jízdní doba, spotřeba trakční energie, spotřeba brzděné energie, adhezní podmínky, porovnávací koeficient, traťová rychlost, traťový profil,

Title

Effect of unstable railway speed profile on running time and consumption of energy

Annotation

The bachelor work is concerned with effect of unstable railway speed profile on running time and consumption of traction and braking energy. These magnitudes are compared for different categories of trains and different locomotives on given railway-track in states before reconstruction and after reconstruction. There is created comparative coefficient to compare locomotives with each other and to review changes in railway speed profile after reconstruction. A piece of this work is attended to effect of different adhesion conditions on running time and consumption of energy.

Keywords

Running time, consumption of traction energy, consumption of braking energy, adhesion conditions, comparative coefficient, railway speed profile, railway profile,

Obsah

SEZNAM POUŽÍVANÝCH VELIČIN	9
SEZNAM POUŽÍVANÝCH ZKRATEK	10
1. ÚVOD.....	11
2. ZPRACOVÁNÍ ÚDAJŮ O TRAŤOVÝCH POMĚRECH	12
2.1 CHARAKTERISTIKA TRATI	12
2.2 VÝPOČET NÁHRADNÍHO SKLONU	12
2.2.1 Traťový odpor z jízdy obloukem	13
2.2.2 Traťový odpor ze sklonu trati	13
2.2.3 Traťový odpor při průjezdu tunelem	13
2.3 ÚPRAVA HODNOT NÁHRADNÍHO SKLONU PRO ZADÁNÍ DO PROGRAMU	14
2.4 ZPRACOVÁNÍ RYCHLOSTNÍHO PROFILU TRATI	16
2.4.1 Rychlostní profil staré trati	16
2.4.2 Rychlostní profil nové trati.....	17
3. ZPRACOVÁNÍ ÚDAJŮ O VOZIDLECH	18
3.1 URČENÍ SOUPRAV POUŽITÝCH PŘI VÝPOČTU.....	18
3.1.1 Soupravy osobních vlaků.....	18
3.1.2 Soupravy nákladních vlaků	20
3.1.3 Vozidlové odpory dopravovaných vozidel, součinitele rotačních hmot.....	20
3.2 URČENÍ HNACÍCH VOZIDEL POUŽITÝCH PŘI VÝPOČTU	21
3.2.1 Trakční charakteristiky hnacích vozidel.....	21
3.2.2 Vozidlové odpory hnacích vozidel, součinitel rotačních hmot	24
4. PRINCIP VÝPOČTU	25
4.1 VÝPOČET JÍZDNÍCH DOB	25
4.2 VÝPOČET SPOTŘEBY ENERGIE	26
5. VÝSLEDKY VÝPOČTŮ.....	27
5.1 POSOUZENÍ VLIVU NEROVNOMĚRNOSTI PRŮBĚHU TRAŤOVÉ RYCHLOSTI NA JÍZDNÍ DOBY	27
5.1.1 Jízdní doby osobních vlaků ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě	27
5.1.2 Jízdní doby osobních vlaků ve směru Zábřeh na Moravě – Česká Třebová	30
5.1.3 Jízdní doby nákladních vlaků	31
5.1.4 Porovnání jízdních dob pro všechny vlaky.....	32
5.2 POSOUZENÍ VLIVU NEROVNOMĚRNOSTI TRAŤOVÉ RYCHLOSTI NA SPOTŘEBU TR. ENERGIE	34
5.2.1 Spotřeba trakční energie os. vlaků ve směru Č. Třebová – Zábřeh na Moravě.....	34
5.2.2 Spotřeba trakční energie os. vlaků ve směru Zábřeh na Moravě – Č. Třebová.....	37
5.2.3 Spotřeba trakční energie u nákladních vlaků.....	38
5.2.4 Porovnání spotřeby trakční energie pro všechny vlaky.....	39
5.3 POSOUZENÍ VLIVU NEROVNOMĚRNOSTI TRAŤOVÉ RYCHLOSTI NA SPOTŘEBU BR. ENERGIE	41
5.3.1 Spotřeba brzděné energie os. vlaků ve směru Č. Třebová – Zábřeh na Moravě	41
5.3.2 Spotřeba brzděné energie os. vlaků ve směru Zábřeh na Moravě - Č. Třebová.....	42
5.3.3 Spotřeba brzděné energie u nákladních vlaků	44

5.3.4	<i>Porovnání spotřeby brzdné energie pro všechny vlaky</i>	45
5.4	CELKOVÉ POROVNÁNÍ Vlivu průběhu traťové rychlosti pro dané lokomotivy	46
5.4.1	<i>Výpočet porovnávacího koeficientu</i>	46
5.4.2	<i>Interpretace porovnávacích koeficientů</i>	49
5.5	POSOUZENÍ Vlivu součinitele adheze na jízdní doby a spotřebu energie	51
6.	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	56
7.	ZÁVĚR	60
8.	LITERATURA	61
9.	PŘÍLOHY	62
9.1	JÍZDNÍ DOBY	62
9.2	SPOTŘEBA TRAKČNÍ ENERGIE	70
9.3	SPOTŘEBA BRZDNÉ ENERGIE	78
9.4	POROVNÁVACÍ KOEFICIENTY	86
9.5	TABULKOVÝ PŘEHLED JÍZDNÍCH DOB A SPOTŘEBY ENERGIE	91

Seznam používaných veličin

Veličiny použité v bakalářské práci jsou uvedeny a vysvětleny v Tab. 1.

Tab. 1 – seznam používaných veličin

Označení	Význam	Jednotka
B_{vl}	Brzdná síla vlaku	[N]
d	Průměr dvojkolí	[mm]
E_b	Spotřeba brzdné energie	[kW·h]
E_{tr}	Spotřeba trakční energie	[kW·h]
F_o	Tažná síla na obvodu kol	[N]
g	Gravitační zrychlení	[m·s ⁻²]
i	Převod	
I	Nedostatek převýšení	[mm]
l	Dráha	[m]
l_d	Délka dopravovaných vozidel (celá souprava)	[m]
l_{di}	Délka dopravovaných vozidel (jeden vůz)	[m]
l_h	Délka hnacího vozidla	[m]
m_c	Hmotnost cestujícího	[kg]
M_d	Hmotnost dopravovaných vozidel (celá souprava)	[t]
M_D	Moment dvojkolí	[N·m]
M_{di}	Hmotnost dopravovaného vozidla (jeden vůz)	[t]
M_h	Hmotnost hnacího vozidla	[t]
M_l	Ložná hmotnost vozu	[t]
M_M	Moment trakčního motoru	[N·m]
M_t	Technický normativ	[t]
M_v	Hmotnost prázdného vozu	[t]
n	Obsaditelnost vozu (počet míst k sezení)	
n_d	Otáčky dvojkolí	[min ⁻¹]
n_M	Otáčky trakčního motoru	[min ⁻¹]
o_d	Měrný vozidlový odpor dopravovaných vozidel	[N·kN ⁻¹]
O_d	Vozidlový odpor dopravovaných vozidel	[N]
o_h	Měrný vozidlový odpor hnacích vozidel	[N·kN ⁻¹]
O_h	Vozidlový odpor hnacího vozidla	[N]
o_r	Měrný traťový odpor z jízdy obloukem	[N·kN ⁻¹]
o_s	Měrný traťový odpor z jízdy ve sklonu	[N·kN ⁻¹]
o_t	Celkový měrný traťový odpor	[N·kN ⁻¹]
O_t	Celkový traťový odpor	[N]
o_{tun}	Měrný traťový odpor při průjezdu tunelem	[N·kN ⁻¹]
P	Trvalý výkon	[kW]
R	Poloměr oblouku	[m]
s	Sklon trati	[‰]
s_n	Náhradní sklon trati	[‰]
t	Čas	[s]
V	Okamžitá rychlost vozidla	[km·h ⁻¹]
V_{max}	Maximální rychlost vozidla	[km·h ⁻¹]

V_t	Traťová rychlost	[km·h ⁻¹]
W	Spotřeba energie	[J]
\ddot{x}	Zrychlení	[m·s ⁻²]
μ	Okamžitý součinitel adheze	
μ_0	Mez adheze	
ρ_d	Součinitel rotačních hmot dopravovaného vozidla	
ρ_h	Součinitel rotačních hmot hnacího vozidla	

Seznam používaných zkratk

Tab. 2 – seznam používaných zkratk

Označení	Význam
CT	Česká Třebová
GVD	Grafikon vlakové dopravy
HV	Hnací vozidlo
JD	Jízdní doba
Lv	Lokomotivní vlak
NO	Nová trať (stav k roku 2009)
ST	Stará trať (stav k roku 2000)
TK	Traťová kolej
tkm	Traťový kilometr
TTP	Tabulky traťových poměrů
Z	Zábřeh na Moravě

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -11-
---	---------------------------------	-------------

1. Úvod

Cílem této bakalářské práce je posoudit vliv nerovnoměrnosti průběhu traťové rychlosti na jízdní doby a spotřebu energie. Toto posouzení bude provedeno na dvou verzích trati (více viz druhá kapitola – Zpracování údajů o traťových poměrech) a pro různé lokomotivy s různými soupravami jak osobních tak nákladních vlaků. (Tyto vlaky jsou definovány v kapitole třetí – Zpracování údajů o vozidlech).

První část práce se zabývá zpracováním údajů o trati a o vozidlech a dále principem výpočtu. Výsledky výpočtů jsou zvláště rozděleny na kapitoly zabývající se postupně vlivem rychlostního profilu na jízdní doby, spotřebu trakční energie a spotřebu brzděné energie. Další část se zabývá závislostí těchto veličin mezi sebou a porovnáním pro různá hnací vozidla. Část práce je také věnována výpočtům jízdních dob a spotřeby energie při různých adhezních podmínkách.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -12-
---	---------------------------------	-------------

2. Zpracování údajů o traťových poměrech

2.1 Charakteristika trati

Pro výpočty jsou použity údaje o traťových poměrech části trati 270 (dle TTP trať 309 Přerov – Česká Třebová), konkrétně úsek Česká Třebová – Zábřeh na Moravě. Zpracovány jsou jak údaje o trati před rekonstrukcí (stav z roku 2000), tak údaje o současné podobě rekonstruované trati. Jako začátek a konec trati je uvažováno umístění dopravní kanceláře v jednotlivých stanicích. Česká Třebová leží v traťovém kilometru 0,206 a Zábřeh na Moravě na tkm 41,345 na staré trati, resp. na tkm 39,733 na nové trati.

Zvláštností zpracovávaného úseku je, že vzhledem ke směru růstu hodnot traťových kilometrů je 2.TK umístěna vlevo od 1.TK. Je tomu tak proto, že začátek trati je v Přerově, odtud hodnoty traťových kilometrů rostou až do žst. Olomouc, kde je skok v kilometrů. Úsek Česká Třebová – Olomouc je pak číslován opačně, tedy nultý kilometr je v České Třebové.

Stav trati z roku 2000 byl následující. Jedná se o dvoukolejnou elektrifikovanou trať s traťovou rychlostí $V_t = 120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ s místními omezeními. Délka zpracovávaného úseku činí 41,139 km. Vzhledem k rozdílnému trasování trati přes Třebovické sedlo platí tento údaj pouze pro první kolej. Stavební délka druhé koleje činí v tomto úseku 40,772 km. Na trati se nacházel 1 dvoukolejný tunel a 1 jednokolejný tunel (tento pouze na 2. TK).

Po rekonstrukci tratě v letech 2002 až 2008 byla zvýšena traťová rychlost a zkrácena délka trati v daném úseku. V současné době je tedy traťová rychlost $V_t = 160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Délka trati činí 39,373 km. Ke zkrácení trati došlo díky vybudování několika přeložek a nových tunelů (celkem 6 dvoukolejných tunelů). Následkem toho, ale trať dosahuje vyšších sklonů, než tomu bylo u staré trati.

Z hlediska zabezpečovacího zařízení je trať vybavená automatickým blokem a je banalizovaná. Obvyklý provoz je však pravostranný, čemuž budou přizpůsobeny všechny další výpočty v této práci. Tj. pro vlaky jedoucí ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě bude počítáno s jízdou po 1. TK, pro vlaky jedoucí opačným směrem s jízdou po 2. TK.

2.2 Výpočet náhradního sklonu

Náhradní sklon je roven celkovému měrnému traťovému odporu. Lze jej vypočítat součtem dílčích traťových odporů. Platí tedy vztah (1).

$$s_n = o_t = o_R + o_S + o_{tun} \quad (1)$$

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -13-
---	---------------------------------	-------------

2.2.1 Traťový odpor z jízdy obloukem

Měrný odpor z jízdy obloukem je stanoven podle Rockwellova vztahu (2). (zdroj: Literatura [18]).

$$o_R = \frac{650}{R-55} \quad (2)$$

Tento vztah platí pro hlavní tratě a oblouky o poloměru větším než 500 m. Ačkoliv na staré trati se nachází několik oblouků s menším poloměrem, je i pro ně použit vztah (2). Důvodem toho je, že by při použití vztahu pro oblouky s menším poloměrem vycházel jízdni odpor menší než pro oblouky s poloměrem o trochu větším, nebo rovným 500 m.

Jízdni odpor při jízdě přechodnicí je počítán jako odpor z jízdy obloukem o dvojnásobném poloměru než je poloměr navazujícího oblouku.

Jízdni odpor při jízdě přechodnicí mezi dvěma stejně orientovanými oblouky s různými poloměry je vypočten jako odpor z jízdy obloukem, jehož poloměr je vypočten z aritmetického průměru křivostí navazujících oblouků.

2.2.2 Traťový odpor ze sklonu trati

Odpor při jízdě vozidla do sklonu o_s lze stanovit podle vztahu (3).

$$o_s = s \quad (3)$$

Tzn., že je roven sklonu trati udávanému v promilích. Při jízdě vozidla ze sklonu má tento odpor zápornou hodnotu.

2.2.3 Traťový odpor při průjezdu tunelem

Tyto traťové odpory jsou stanoveny zvlášť pro jednokolejné tunely – platí rovnice (4), a zvlášť pro dvoukolejné tunely – platí rovnice (5).

$$o_{tun} = 2 N \cdot kN^{-1} \quad (4)$$

$$o_{tun} = 1 N \cdot kN^{-1} \quad (5)$$

2.3 Úprava hodnot náhradního sklonu pro zadání do programu

Pro další výpočet je třeba rozdělit trať na úseky (mohou být různé dlouhé), ve kterých je stejný náhradní sklon, resp. nemění se žádný z dílčích traťových odporů.

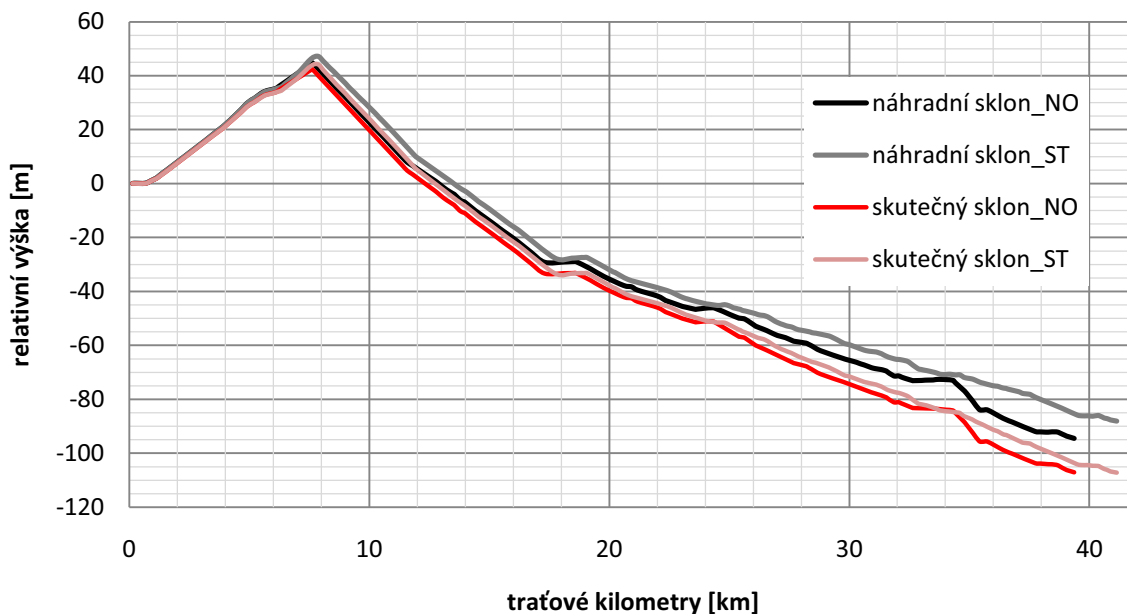
Ukázka výsledků výpočtu náhradního sklonu nové trati je uvedena v Tab. 3.

Tab. 3 – výpočet náhr. sklonu pro 1. TK ve směru Č. Třebová – Zábřeh na M. a zpět

tkm	Sklon	Poloměr oblouku	Tunely	Délka úseku	σ_S	σ_R	σ_{tun}	$s_n CT_Z$	$s_n Z_CT$
	[‰]	[m]		[km]	[N.kN ⁻¹]	[N.kN ⁻¹]	[N.kN ⁻¹]	[‰]	[‰]
0,206	0	∞		-	-	-	-	-	-
0,339	0	650		0,133	0	0	0	0	0
0,426	0	∞		0,087	0	1,092	0	1,092	1,092
0,867	3,96	∞		0,441	0	0	0	0	0
1,126	3,96	1830		0,259	3,96	0	0	3,960	-3,960
1,253	3,96	915		0,127	3,96	0,366	0	4,326	-3,594
1,340	6,25	915		0,087	3,96	0,756	0	4,716	-3,204
1,427	6,47	915		0,087	6,25	0,756	0	7,006	-5,494
⋮									
33,705	-0,24	1508		0,184	-0,24	0,450	0	0,210	0,690
33,850	-0,24	1508	z	0,145	-0,24	0,447	0	0,207	0,687
33,889	-0,24	754		0,039	-0,24	0,447	1	1,207	1,687
33,910	-0,89	754		0,021	-0,24	0,930	1	1,690	2,170
34,030	-0,89	754	k	0,120	-0,89	0,930	1	1,040	2,820
34,217	-0,89	1508		0,187	-0,89	0,930	0	0,040	1,820
34,401	-0,89	∞		0,184	-0,89	0,447	0	-0,443	1,337
⋮									
39,421	-2,68	3000		0,033	-4,55	0,221	0	-4,329	4,771
39,465	-2,68	∞		0,044	-2,68	0,221	0	-2,459	2,901
39,733	-2,68	∞		0,268	-2,68	0	0	-2,680	2,680

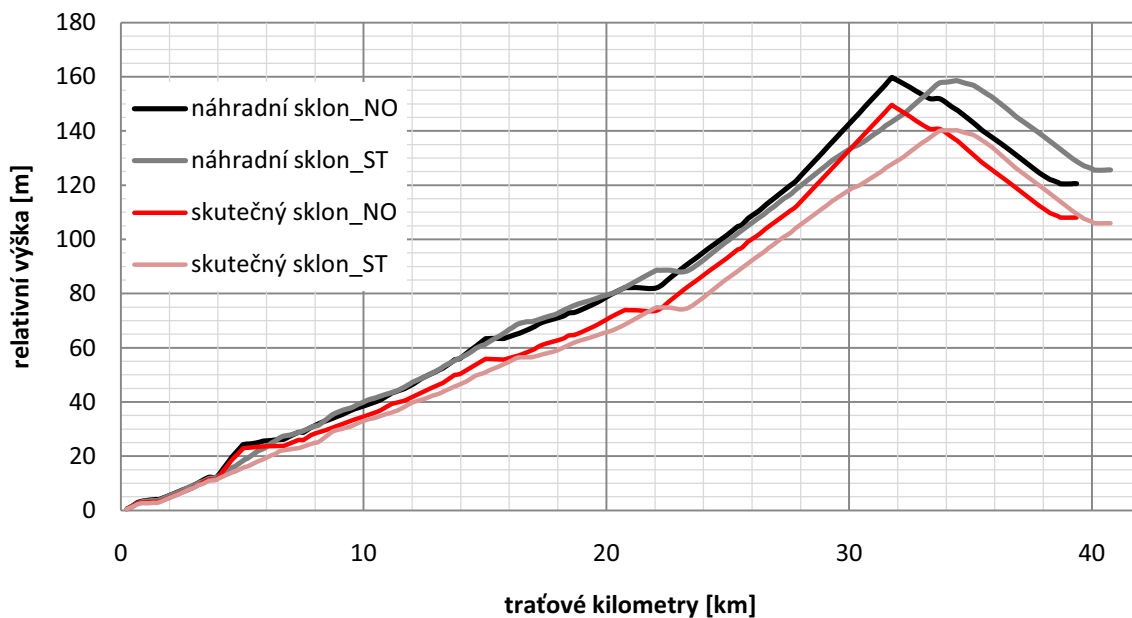
Údaje v tabulce jsou zpracovány takto. Pro jeden řádek platí, že v prvním sloupci je traťový kilometr, na kterém začíná sklon, poloměr oblouku, nebo tunel uvedený ve vedlejším sloupci. V pátém sloupci je vypočtena délka úseku rovná rozdílu traťových kilometrů na současném a předchozím řádku. Hodnoty traťových odporů ve vedlejších sloupcích platí pro danou délku úseku. Náhradní sklon v posledním sloupci platí pro opačný směr (Zábřeh na Moravě – Česká Třebová). Jeho výpočet se liší tím, že odpor ze sklonu je přičítán s opačným znaménkem.

Porovnání průběhu náhradního sklonu, resp. sklonového profilu trati vytvořeného z náhradního sklonu, v závislosti na traťových kilometrech pro 1. TK ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě je zobrazeno na Obr. 1.



Obr. 1 – sklonový profil tratě pro 1. TK ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě

Pro opačný směr je vytvořen sklonový profil 2. TK (znázorněn v Obr. 2).

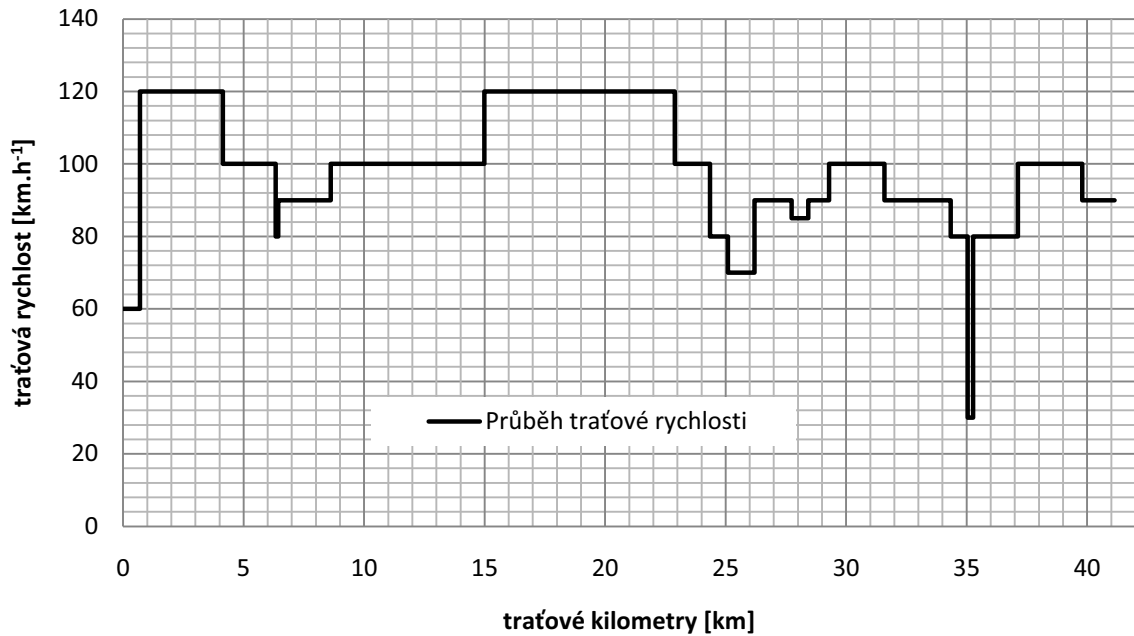


Obr. 2 – sklonový profil tratě pro 2. TK ve směru Zábřeh na Moravě – Česká Třebová

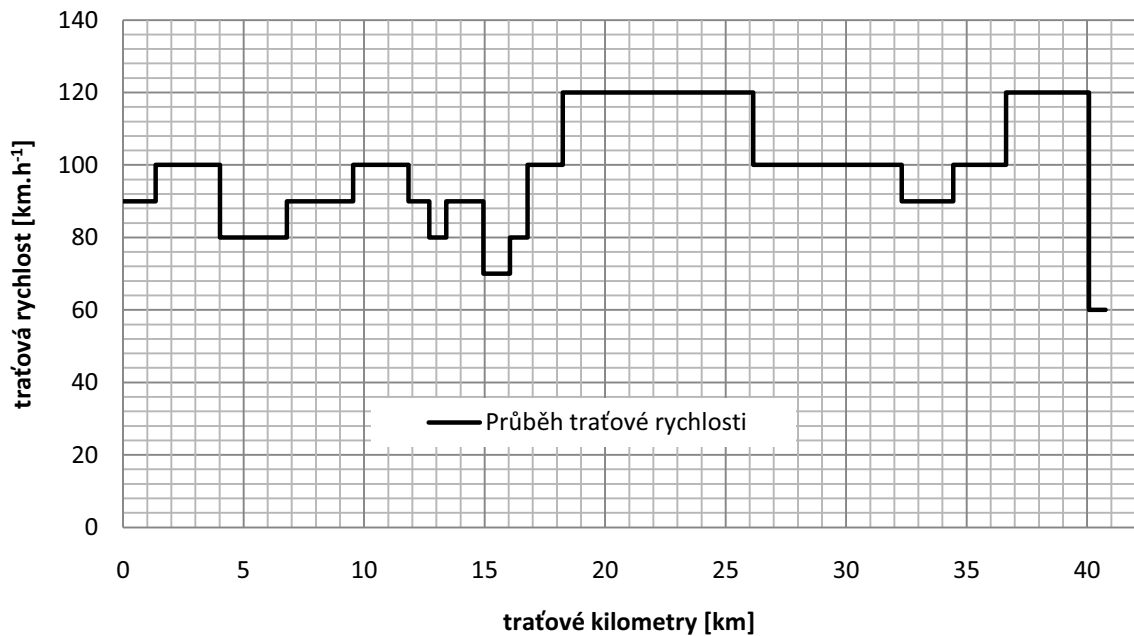
2.4 Zpracování rychlostního profilu trati

2.4.1 Rychlostní profil staré trati

Rychlostní profil je zpracován podle tabulek traťových poměrů. Profil staré trati pro 1. TK, resp. pro 2. TK je znázorněn na Obr. 3, resp. Obr. 4.



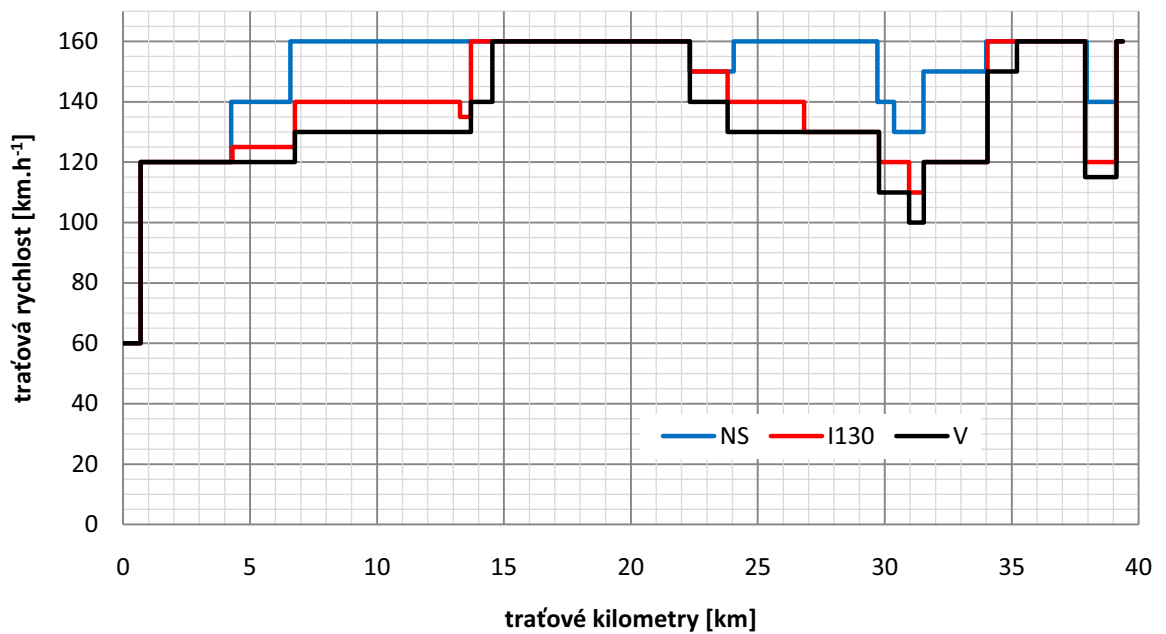
Obr. 3 – rychlostní profil 1. TK ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě



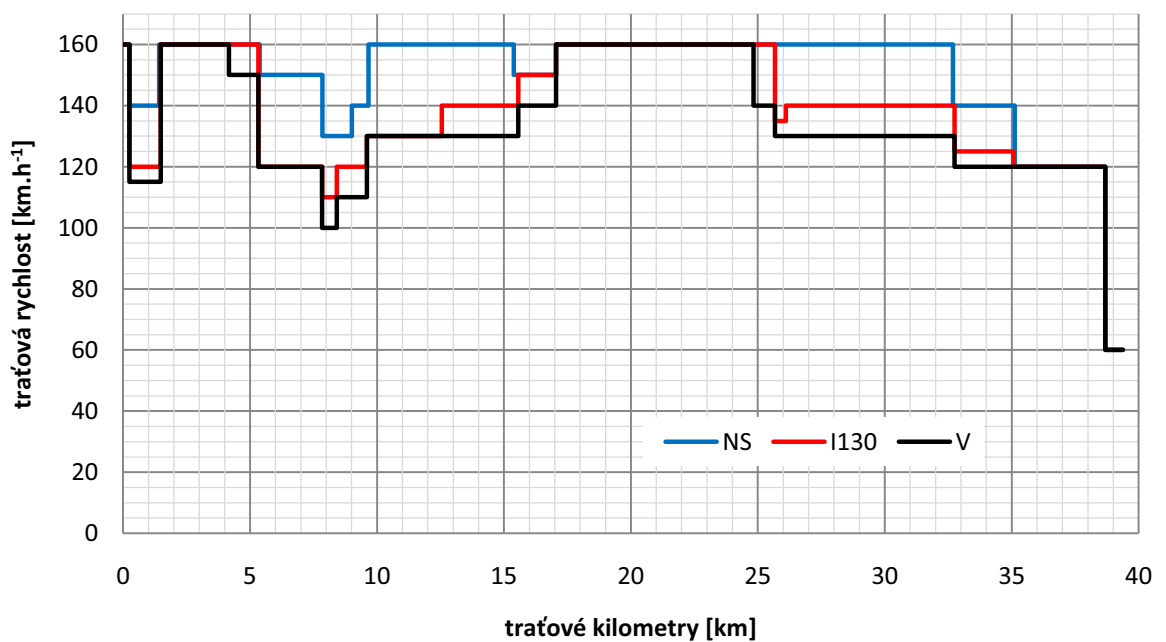
Obr. 4 – rychlostní profil 2. TK ve směru Zábřeh na Moravě - Česká Třebová

2.4.2 Rychlostní profil nové trati

Zpracovány jsou průběhy traťových rychlostí pro klasické soupravy (V), dále průběh traťové rychlosti podle rychlostníků pro vozidla s dovolenou jízdou při nedostatku převýšení $I=130$ mm (I130), a také průběh traťové rychlosti pro vozidla s naklápečí skříní (NS). Rychlostní profily pro 1. TK, resp. pro 2. TK, jsou znázorněny v Obr. 5, resp. v Obr. 6.



Obr. 5 – rychlostní profil 1. TK ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě



Obr. 6 – rychlostní profil 2. TK ve směru Zábřeh na Moravě – Česká Třebová

3. Zpracování údajů o vozidlech

3.1 Určení souprav použitých při výpočtu

Při výpočtu bude porovnáváno celkem 5 souprav, z toho 3 osobní a 2 nákladní vlaky. Soupravy vlaků jsem zvolil tak, aby mezi nimi byly znatelné rozdíly ve zkoumaných veličinách.

3.1.1 Soupravy osobních vlaků

Řazení souprav osobních vlaků vychází ze skutečných řazení vlaků, které jsou po trati provozovány. Přehled řazení těchto vlaků a jejich označení, pod kterým budou dále uváděny, je zapsáno v Tab. 4.

Tab. 4 – přehled řazení osobních vlaků

Označení soupravy	Řazení	M_d [t]	l_d [m]	V_{max} [km/h]
R 470	AB+BDs+3xB+Bc+WLABee+2xBc+WLABee+2xWLABmee+ +Bmee+WLABmz+WLAB	704,44	375,1	140
EC 110	3xBmz+WRmz+2xAmpz+2xBee+2xBpee	513,20	256,4	160
Ex 140	2xBpee+2xBee+Ampz	240,72	124,4	160

Vlaky EC 110 a Ex 140 jsou zpracovány podle řazení platného pro GVD 2009/2010. Vlak R 470 je sestaven podle řazení platného v GVD 2008/2009.

Hmotnost dopravovaných vozidel je rovna součtu hmotností jednotlivých vozů. Hmotnost vozu je uvažována pro vůz s plně využitými místy k sezení / ležení. U vozu se zavazadlovým oddílem je přičtena hmotnost zavazadel při maximálně využitém prostoru tohoto oddílu (Platí pro vůz BDs - tato hmotnost je 7500 kg). Pro výpočet hmotnosti obsazeného vozu se uvažuje hmotnost cestujícího $m_c = 80$ kg. Technické údaje o jednotlivých vozech použitých v soupravách jsou v Tab. 5.

Tab. 5 – údaje o použitých vozech

Označení vozu	M_v [t]	l_{di} [m]	n	M_{di} [t]
AB	37,5	24,5	60	42,62
Ampz	47,0	26,4	58	51,64
B	38,0	24,5	80	44,40
Bc	42,0	24,5	54	46,32
BDs	38,0	24,5	48	48,70
Bee	42,5	24,5	60	47,30
Bmee	40,0	26,4	66	45,28
Bmz	49,6	26,4	66	54,88
Bpee	41,0	24,5	78	47,24
WLAB	43,0	24,5	25	45,00
WLABee	47,0	24,5	25	49,00
WLABmee	45,0	26,4	30	47,40
WLABmz	55,0	26,4	36	57,88

Hmotnost obsazeného vozu M_{di} je spočtena podle vzorce (6)

$$M_{di} = M_v + \frac{n \cdot m_c}{1000} \quad (6)$$

Hmotnost dopravovaných vozidel M_d je rovna součtu hmotností jednotlivých vozů M_{di} .
Celková délka soupravy l_d je rovna součtu délek jednotlivých vozů uvedených v Tab. 5.

3.1.2 Soupravy nákladních vlaků

Pro porovnání nákladních vlaků jsem zvolil 2 soupravy – kontejnerový vlak (vozy Sgnss) a nákladní vlak s vozy Falls. V obou případech se jedná o ložené vozy.

Maximální počet vozů závisí na dovoleném technickém normativu pro danou trať. Zvolen je technický normativ pro lokomotivu řady 363, pro typ jízdního odporu T a pro rozjezd ze žst. Zábřeh na Moravě a průjezd žst. Krasíkov. Hodnota technického normativu tedy činí $M_t = 1650$ t, čemuž musí vyhovovat počet vozů vlaku.

Přehled označení a řazení vlaků je uveden v Tab. 6, parametry vozů jsou v Tab. 7.

Tab. 6 – přehled řazení nákladních vlaků

Označení soupravy	Řazení	M_d [t]	l_d [m]	V_{max} [km/h]
Nk	15xSgnss_loz	1350,0	294,6	120
Nu	22xFalls_loz	1579,6	297,0	90

Tab. 7 – údaje o použitých vozech

Označení vozu	M_v [t]	l_{di} [m]	M_l [t]	M_{di} [t]
Falls	26,8	13,50	45	71,8
Sgnss	20,0	19,64	70	90,0

Hmotnost dopravovaných vozidel M_d je v tomto případě spočtena podle vzorce (7).

$$M_d = \sum M_{di} = \sum (M_v + M_l)_i \quad (7)$$

3.1.3 Vozidlové odpory dopravovaných vozidel, součinitele rotačních hmot

K dalším výpočtům je třeba znát rovnice měrného vozidlového odporu a součinitele rotačních hmot. Pro všechny osobní vozy zde použité platí typ jízdního odporu R, výpočet měrného vozidlového odporu osobních vozů vychází z rovnice (8).

$$o_d = 1,35 + 0,0008 \cdot V + 0,00033 \cdot V^2 \quad (8)$$

Uvedeným nákladním vozům náleží typ jízdního odporu T4. Měrný vozidlový odpor pro tyto vozy vychází z rovnice (9).

$$o_d = 1,3 + 0,00033 \cdot V^2 \quad (9)$$

Součinitel rotačních hmot platí pro osobní vozy $\rho_d = 0,06$ a pro ložené nákladní vozy $\rho_d = 0,04$.

3.2 Určení hnacích vozidel použitých při výpočtu

V této práci budou použita hnací vozidla uvedená v Tab. 8. Zde jsou také uvedeny technické parametry daných lokomotiv.

Tab. 8 – údaje o použitých hnacích vozidlech

Řada HV	M_h [t]	L_h [m]	V_{max} [km.h ⁻¹]	P [kW]
150	82,5	16,74	140	4000
151	82,0	16,74	160	4000
362	87,0	16,80	140	3480
363	87,0	16,80	120	3480
380	87,6	18,00	200	6400

3.2.1 Trakční charakteristiky hnacích vozidel

Trakční charakteristiky lokomotiv řad 150, 363 a 380 jsou k dispozici z dostupných materiálů. Trakční charakteristiky lokomotiv řady 151 a 362 bylo nutné stanovit přepočtením z řady 150, resp. z řady 363.

Známe hodnoty pro tento přepočet jsou převod lokomotivy řady 150 ($i_{150} = 2,441$), převod lokomotivy řady 151 ($i_{151} = 2,162$) a průměr dvojkolí obou lokomotiv ($d = 1250$ mm). Při výpočtu trakční charakteristiky lze vyjít z rovnosti otáček dvojkolí lokomotiv řady 150 a 151 při stejné rychlosti V . Pro výpočet otáček dvojkolí n_D platí rovnice (10).

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

Dále je nutné spočítat otáčky trakčního motoru řady 150 při rychlosti V - rovnice (11), a otáčky trakčního motoru řady 151 při rychlosti V - rovnice (12)

$$n_{M150V} = n_d \cdot i_{150} \quad (11)$$

$$n_{M151V} = n_d \cdot i_{151} \quad (12)$$

V rovnici (13) jsou stanoveny otáčky dvojkolí lokomotivy řady 150 při stejných otáčkách trakčního motoru, které odpovídají rychlosti jízdy V lokomotivy řady 151.

$$n_{d150*} = \frac{n_{M151V}}{i_{150}} \quad (13)$$

Z těchto otáček lze spočítat rychlost V^* , což je rychlost jízdy lokomotivy řady 150 odpovídající otáčkám trakčního motoru lokomotivy řady 151 při rychlosti V .

$$V^* = \frac{3,6 \cdot n_{d150*} \cdot \pi \cdot d}{60 \cdot 1000} \quad (14)$$

K dalšímu postupu je možné využít rovnost momentů trakčních motorů $M_{M150} = M_{M151}$ při $n_{M150V^*} = n_{M151V}$. Z této podmínky vychází rovnice (15)

$$M_{M150} = M_{M151} = \frac{M_{D150}}{i_{150}} = \frac{M_{D151}}{i_{151}} \Rightarrow M_{D151} = \frac{i_{151}}{i_{150}} \cdot M_{D150} \quad (15)$$

Při vydělení rovnice (15) poloměrem dvojkolí získáme rovnici (16) pro výpočet sil na obvodu kol.

$$F_{o151}(V) = \frac{i_{151}}{i_{150}} \cdot F_{o150}(V^*) \quad (16)$$

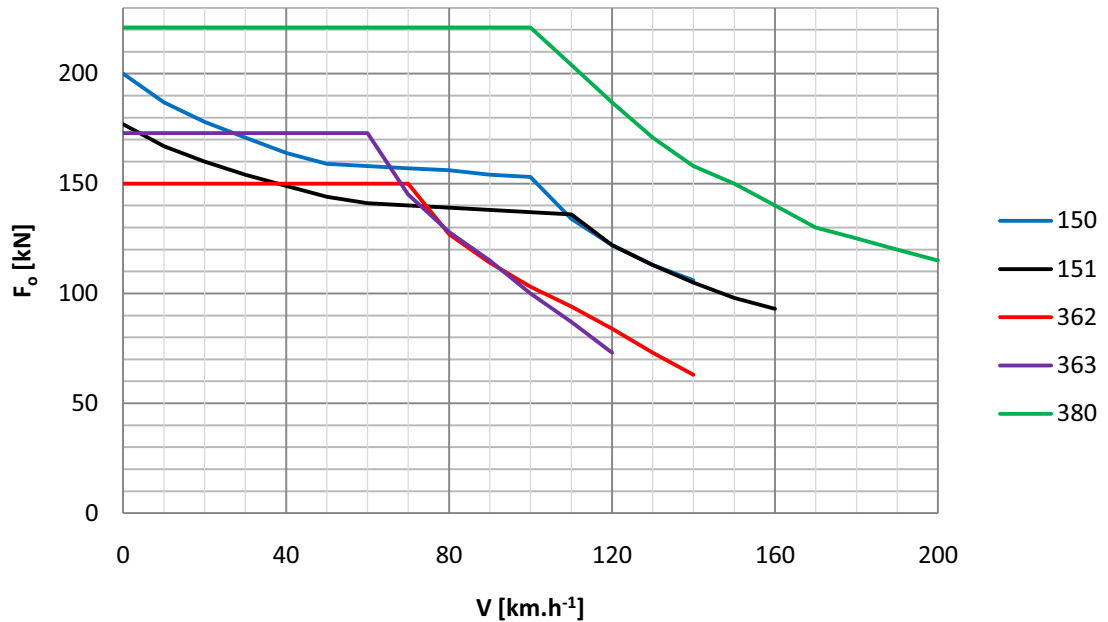
Postup celého přepočtu je uveden v Tab. 9.

Tab. 9 – výpočet trakční charakteristiky lokomotivy řady 151

V	$F_{o150}(V)$	n_d	n_{M150V}	n_{M151V}	n_{d150^*}	V^*	$F_{o150}(V^*)$	$F_{o151}(V)$
[km.h ⁻¹]	[kN]	[min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[min ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[kN]	[kN]
0	200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	200	177
10	187	42.44	103.60	91.76	37.59	8.86	188	167
20	178	84.88	207.20	183.52	75.18	17.71	181	160
30	171	127.32	310.80	275.27	112.77	26.57	174	154
40	164	169.77	414.40	367.03	150.36	35.43	168	149
50	159	212.21	518.00	458.79	187.95	44.29	163	144
60	158	254.65	621.60	550.55	225.54	53.14	159	141
70	157	297.09	725.19	642.31	263.13	62.00	158	140
80	156	339.53	828.79	734.07	300.72	70.86	157	139
90	154	381.97	932.39	825.82	338.31	79.71	156	138
100	153	424.41	1035.99	917.58	375.90	88.57	155	137
110	134	466.85	1139.59	1009.34	413.49	97.43	154	136
120	122	509.30	1243.19	1101.10	451.08	106.28	138	122
130	113	551.74	1346.79	1192.86	488.68	115.14	128	113
140	106	594.18	1450.39	1284.61	526.27	124.00	119	105
150	-	636.62	1553.99	1376.37	563.86	132.86	111	98
160	-	679.06	1657.59	1468.13	601.45	141.71	106	94

Pro výpočet trakční charakteristiky řady 362 je postup výpočtu stejný, s tím rozdílem, že za hodnoty platné pro řadu 150 jsou dosazovány hodnoty platné pro řadu 363 a za hodnoty platné pro řadu 151 jsou dosazovány hodnoty platné pro řadu 362. Převod lokomotivy řady 363 je $i_{363} = 3,522$, převod lokomotivy řady 362 je $i_{362} = 3,038$. Průměr dvojkolí je stejný jako u řad 150 a 151.

Porovnání trakčních charakteristik lokomotiv je zobrazeno v grafu na Obr. 7. Trakční charakteristiky znázorňují závislost na rychlosti pro tažnou sílu na obvodu kol F_o (ta je pak zadávána do výpočetního programu).



Obr. 7 – trakční charakteristiky daných lokomotiv

3.2.2 Vozidlové odpory hnacích vozidel, součinitel rotačních hmot

Z dostupných materiálů jsou k dispozici pouze grafické závislosti vozidlového odporu na rychlosti pro lokomotivy řad 150 a 363. Z hodnot vozidlového odporu odečteného z trakčních charakteristik těchto lokomotiv je třeba získat rovnici pro výpočet měrného vozidlového odporu, v obecném tvaru se jedná o rovnici (17).

$$o_h = a + b \cdot V + c \cdot V^2 \quad (17)$$

Potřebné koeficienty v této rovnici získáme proložením daných bodů regresní křivkou, konkrétně polynomem druhého stupně. Pro lokomotivu řady 363 vychází měrný vozidlový odpor podle vztahu (18), pro lokomotivu řady 150 platí vztah (19).

$$o_{363} = 3,4 - 0,0332 \cdot V + 0,0007 \cdot V^2 \quad (18)$$

$$o_{150} = 4,1362 - 0,0586 \cdot V + 0,0011 \cdot V^2 \quad (19)$$

Vzhledem k typové podobnosti lze vztah (18) použít výpočet měrného vozidlového odporu pro lokomotivu řady 362. Podobně vztah (19) můžeme použít pro stanovení měrného vozidlového odporu lokomotivy řady 151.

U lokomotivy řady 380 je předpoklad k nižšímu vozidlovému odporu (vzhledem k modernější konstrukci) než je tomu u výše uvedených lokomotiv. Protože však závislost vozidlového odporu na rychlosti není známa, počítal jsem i u této lokomotivy měrný vozidlový odpor podle vztahu (18), jelikož velikost tohoto odporu vychází z rovnice (18) menší než z rovnice (19).

Součinitel rotačních hmot je pro všechny uvedené lokomotivy stejný a jeho hodnota činí $\rho_h = 0,2$.

4. Princip výpočtu

Zjišťování jízdních dob a spotřeby energie je prováděno pomocí výpočtového programu, který vytvořil Ing. Jakub Vágnér v rámci své bakalářské práce (viz Literatura [6]). Na jakých principech program funguje je popsáno v následujících kapitolách.

Na začátek je třeba uvést, že tyto výpočty vychází z pohybové rovnice vlaku, která je v obecném tvaru zapsána ve vztahu (20).

$$[M_d \cdot (1 + \rho_d) + M_h \cdot (1 + \rho_h)] \cdot 10^3 \cdot \ddot{x} = F_0 - O_h - O_d - O_t - B_{vl} \quad (20)$$

Vozidlový odpor je úměrný měrnému vozidlovému odporu a k jeho výpočtu slouží vztah (21). Celkový traťový odpor je vypočten z měrného traťového odporu, resp. z náhradního sklonu trati podle rovnice (22).

$$O_{h,d} = M_{h,d} \cdot o_{h,d} \cdot g \quad (21)$$

$$O_t = (M_h + M_d) \cdot o_t \cdot g \quad (22)$$

4.1 Výpočet jízdních dob

Nejprve je z pohybové rovnice nutné vyjádřit zrychlení.

$$\ddot{x} = \frac{dv}{dt} = \frac{F_0 - O_h - O_d - O_t - B_{vl}}{[M_d \cdot (1 + \rho_d) + M_h \cdot (1 + \rho_h)] \cdot 10^3} = \frac{F_0 - M_h \cdot o_h \cdot g - M_d \cdot o_d \cdot g - (M_h + M_d) \cdot g \cdot o_t - B_{vl}}{[M_d \cdot (1 + \rho_d) + M_h \cdot (1 + \rho_h)] \cdot 10^3} \quad (23)$$

Integrací vztahu (23) podle času získáme vztah pro výpočet rychlosti.

$$v - v_0 = \frac{F_0 - M_h \cdot o_h \cdot g - M_d \cdot o_d \cdot g - (M_h + M_d) \cdot g \cdot o_t - B_{vl}}{[M_d \cdot (1 + \rho_d) + M_h \cdot (1 + \rho_h)] \cdot 10^3} \cdot t \quad (24)$$

Integrací vztahu (24) pak dostaneme rovnici pro výpočet dráhy.

$$l = v_0 \cdot t + \frac{F_0 - M_h \cdot o_h \cdot g - M_d \cdot o_d \cdot g - (M_h + M_d) \cdot g \cdot o_t - B_{vl}}{2 \cdot [M_d \cdot (1 + \rho_d) + M_h \cdot (1 + \rho_h)] \cdot 10^3} \cdot t^2 \quad (25)$$

Při výpočtu v programu je dosazován konstantní časový krok $dt = 0,5$ s. Z počáteční nulové rychlosti je z rovnice (23) vypočteno počáteční zrychlení a podle dalších následujících rovnic i ostatní veličiny. Nové hodnoty rychlosti jsou opět dosazeny do rovnice (23) a výpočet takto postupuje dále.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -26-
---	---------------------------------	-------------

Celková jízdní doba je rovna součtů jednotlivých časových kroků dt , resp. t_i .

$$t = \sum_i^n t_i \quad (26)$$

4.2 Výpočet spotřeby energie

Spotřeba energie vychází opět z pohybové rovnice a zároveň z rovnice (27).

$$dW = F_0 \cdot dl \quad (27)$$

Platí, že přírůstek dráhy dl odpovídá vzdálenosti, kterou vlak ujede za časovou jednotku dt při určitém zrychlení a rychlosti.

Celková spotřeba energie je podobně jako u jízdních dob rovna součtu jednotlivých přírůstků spotřeby energie. V případě výpočtu brzdné energie je místo tažné síly F_0 dosazována do rovnice (27) brzdná síla B_{vl} .

Bližší informace o způsobu výpočtu zde nejsou uvedeny, neboť to není smyslem a cílem této práce. K výpočtu je ještě nutné zdůraznit, že program zohledňuje délku vlaku.

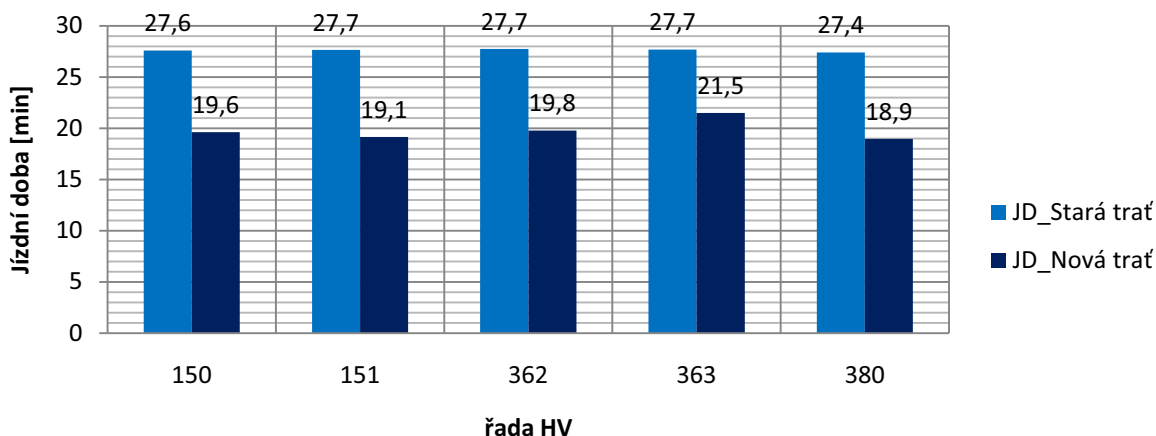
5. Výsledky výpočtů

Pomocí výše uvedeného programu byly vypočteny jízdní doby, spotřeba trakční energie a spotřeba brzdné energie pro všechny kombinace souprav osobních vlaků se všemi lokomotivami. U nákladních vlaků je výpočet proveden pouze pro lokomotivy řad 363 a 380. Pro soupravy vlaků Ex 140 a EC 110 jsou výpočty provedeny na rychlostním profilu dovolujícím jízdu s nedostatkem převýšení $I = 130$ mm. Ostatní vlaky se řídí rychlostním profilem pro klasické soupravy.

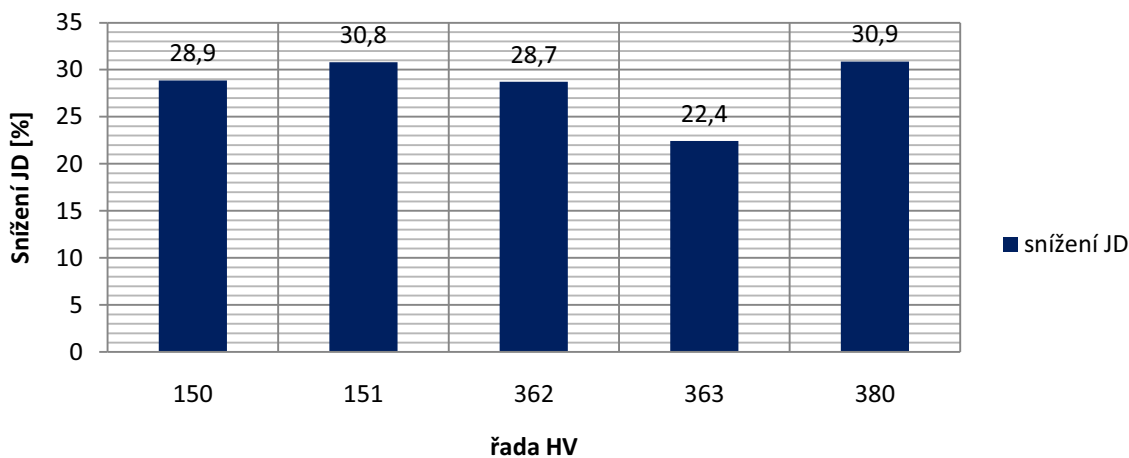
5.1 Posouzení vlivu nerovnoměrnosti průběhu traťové rychlosti na jízdní doby

5.1.1 Jízdní doby osobních vlaků ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě

Vliv průběhu traťové rychlosti na jízdní doby lze ukázat např. na vlaku Ex 140. Na Obr. 8 je vidět porovnání hodnot jízdních dob tohoto vlaku na staré a nové trati. Z těchto hodnot pak vychází procentuelní snížení jízdních dob uvedené na Obr. 9.



Obr. 8 – porovnání jízdních dob pro vlak Ex 140 a různá hnací vozidla (1. TK, CT-Z)



Obr. 9 – procentuelní snížení JD pro vlak Ex 140 a různá HV (1.TK, CT-Z)

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -28-
---	---------------------------------	-------------

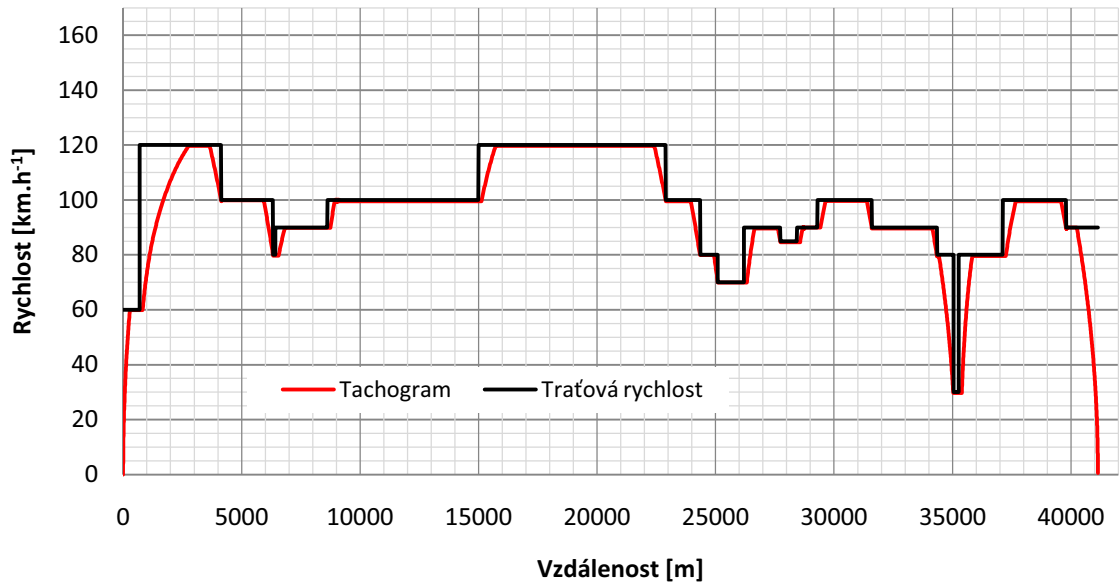
Jak je vidět z Obr. 8 jízdní doby vlaku na staré trati se příliš neliší. Rozdíl mezi nejrychlejším a nejpomalejším vlakem je 20 s. To je dáno především tím, že všechny vlaky jsou schopny dosáhnout traťové rychlosti. Různé jízdní doby tak závisí hlavně na výkonových možnostech lokomotivy a na způsobu regulace výkonu.

Na nové trati jsou jízdní doby závislé na dalších faktorech. Těmi jsou zkrácení stavební délky trati, a dále maximální rychlosti vlaku. Z výše uvedených grafů je patrné, že největšího snížení jízdních dob dosáhnou lokomotivy řady 151 a 380, které jsou schopny dosáhnout traťové rychlosti. Jízdní dobu je s těmito lokomotivami možné zkrátit skoro na 2/3 původní jízdní doby. Menšího snížení jízdních dob dosahují lokomotivy řady 150 a 362, jelikož jejich maximální rychlost je $140 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Rozdíly mezi jízdními dobami řad 151 a 380 a mezi jízdními dobami řad 150 a 362 závisí především na různých výkonech těchto lokomotiv a v malé míře také na různých hodnotách vozidlového odporu. Nejmenšího snížení jízdních dob je schopna dosáhnout lokomotiva řady 363 a to z důvodu své nízké konstrukční rychlosti. Rozdíl mezi nejrychlejší a nejpomalejší lokomotivou na nové trati jsou 2 min 32 s.

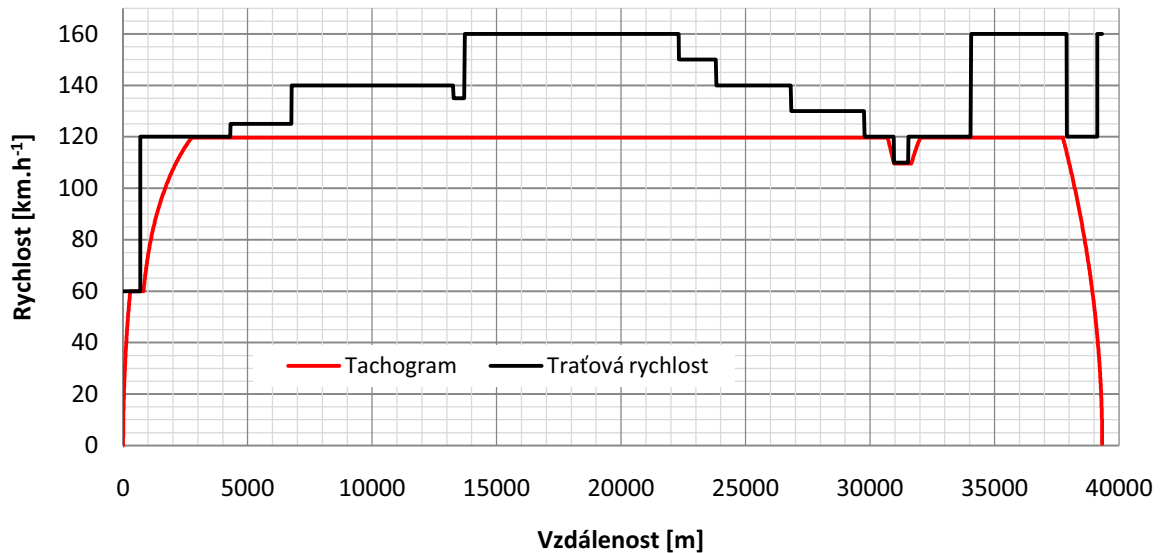
Vliv nerovnoměrnosti průběhu traťové rychlosti na jízdní doby nelze jednoduše vyčíslit. Pro jeho posouzení je nejlepším příkladem lokomotiva řady 363. V jejím případě je totiž maximální rychlost vlaku stejná na staré i na nové trati. Změna jízdní doby tak závisí pouze na traťovém profilu, zkrácení stavební délky trati a na změně průběhu traťové rychlosti. Snížení jízdních dob vlivem zkrácení délky trati je možné spočítat z rozdílu délek staré a nové trati a jeho podělením průměrnou rychlostí vlaku na staré trati. Odečtením tohoto času od celkového snížení jízdní doby lze při zanedbání vlivu změny traťového profilu získat čas Δt odpovídající snížení jízdní doby vlivem změny rychlostního profilu. Výpočet je proveden podle rovnice (28).

$$\Delta t = t_{st} - t_{no} - \frac{\Delta l}{v_p} \cdot 60 = 27,68\bar{3} - 21,475 - \frac{1,766 \cdot 60}{89,163} = 5 \text{ min} \quad (28)$$

Porovnání průběhu jízdy vlaku Ex 140 na staré resp. na nové trati je znázorněno v tachogramech – Obr. 10, resp. Obr. 11. Je zde dobře vidět, že na nové trati je vlaku umožněno jet skoro po celé délce stejnou rychlostí.



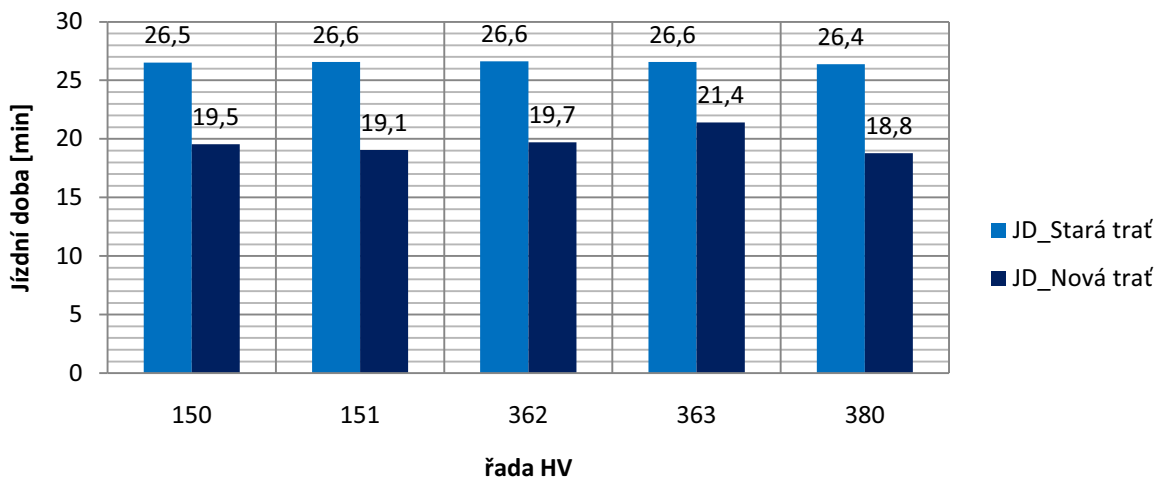
Obr. 10 – tachogram jízdy lokomotivy 363 s vlakem Ex 140 po staré trati (1. TK, CT-Z)



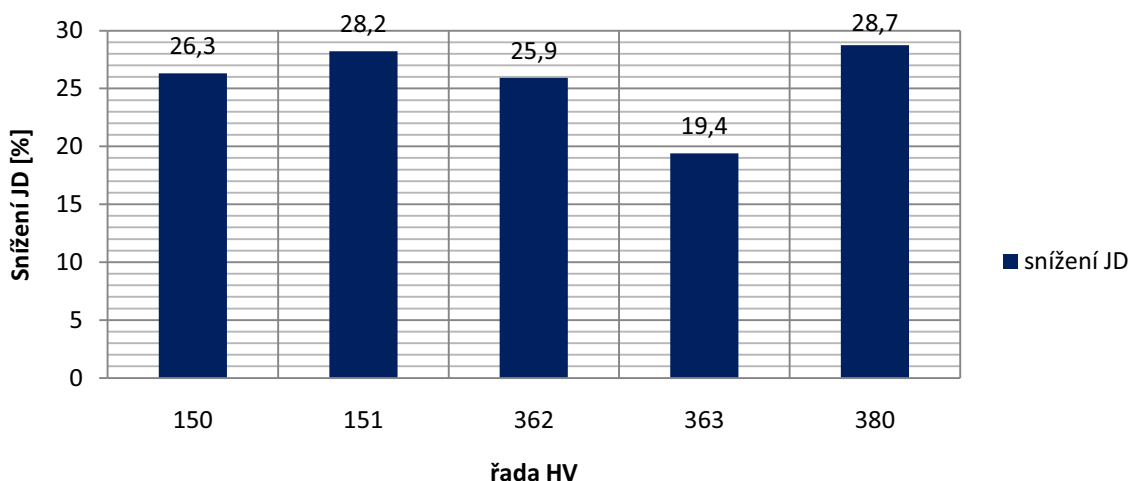
Obr. 11 – tachogram jízdy lokomotivy 363 s vlakem Ex 140 po nové trati (1. TK, CT-Z)

5.1.2 Jízdní doby osobních vlaků ve směru Zábřeh na Moravě – Česká Třebová

Pro jízdu v tomto směru je jako příklad opět uveden vlak Ex 140. Porovnání jízdních dob, resp. jejich snížení je uvedeno na Obr. 12, resp. Obr. 13.



Obr. 12 – porovnání jízdních dob pro vlak Ex 140 a různá hnací vozidla (2. TK, Z-CT)



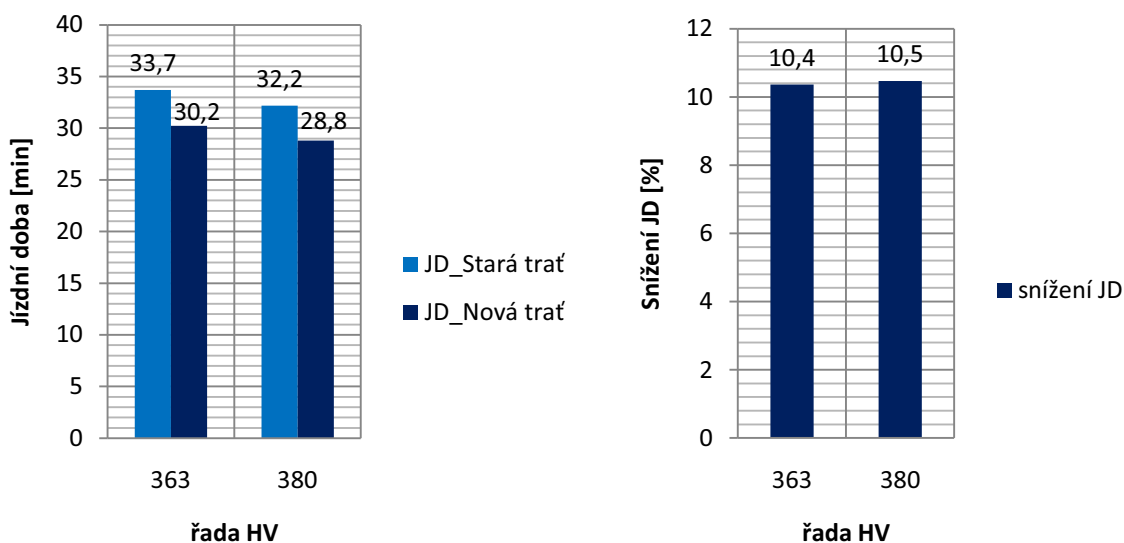
Obr. 13 – procentuelní snížení JD pro vlak Ex 140 a různá HV (2. TK, Z-CT)

Z výše uvedených grafů vyplývá, že snížení jízdních dob ve směru Zábřeh na Moravě – Česká Třebová při jízdě po 2. TK je u všech lokomotiv zhruba o 2% nižší, než při jízdě v 1. TK v opačném směru. Je to dáno především příznivějším rychlostním profilem 2. TK a také tím, že tato kolej je stavebně o 367 m kratší. Snížení jízdních dob je tedy menší z důvodu kratší jízdní doby na staré trati, Na nové trati jsou jízdní doby pro každou lokomotivu v obou směrech přibližně stejné (s maximálním rozdílem 9 s). Lokomotivy jsou tedy s tímto vlakem schopny dosahovat podobných zrychlení v obou směrech.

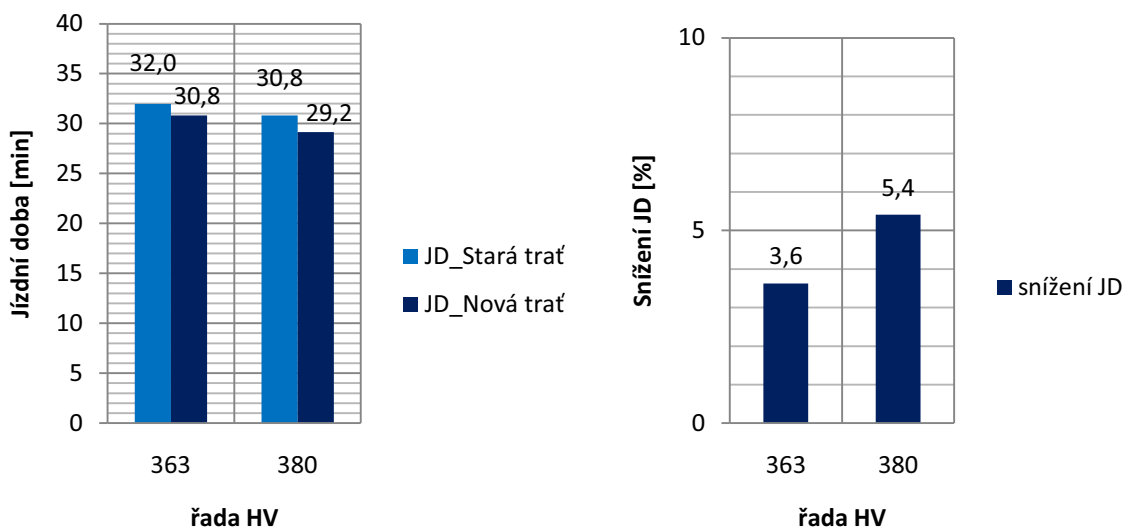
Při porovnání jednotlivých lokomotiv mezi sebou je opět vidět, že na staré trati se jízdní doby skoro neliší. Rozdíl mezi nejrychlejší a nejpomalejší lokomotivou je 15 s. Největšího snížení jízdních dob dosáhnou lokomotivy řad 151 a 380 díky své vyšší konstrukční rychlosti. O něco menšího snížení dosáhnou lokomotivy řady 150 a 362 a nejmenšího snížení jízdní doby je schopna dosáhnout lokomotiva řady 363.

5.1.3 Jízdní doby nákladních vlaků

U nákladních vlaků jsem pro porovnání jízdních dob zvolil soupravu označení Nu (22 ložených vozů Falls). Porovnání jízdních dob a jejich snížení pro směr Česká Třebová – Zábřeh na Moravě je uvedeno na Obr. 14. Pro opačný směr je porovnání uvedeno na Obr. 15.



Obr. 14 – porovnání JD a jejich snížení pro vlak Nu (1. TK, CT-Z)



Obr. 15 – porovnání JD a jejich snížení pro vlak Nu (2. TK, Z-CT)

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -32-
---	---------------------------------	-------------

V porovnání s osobními vlaky je u nákladního vlaku menší snížení jízdní doby. Je to dáno především nízkou maximální rychlostí vlaku, v tomto případě pouze $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Ve směru Zábřeh na Moravě – Česká Třebová nemá průběh traťové rychlosti velký vliv na jízdní doby, neboť i na staré trati je možné po většinu doby jet povolenou maximální rychlostí. Snížení jízdní doby je tak dáno hlavně zkrácením trati. Vliv zrovnoměření traťové rychlosti je v případě tohoto nákladního vlaku eliminován zvětšením sklonu v některých místech trati. To se projeví hlavně u řady 363, která v místech s velkým sklonem není schopna dodržet rychlost $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Lokomotiva řady 380 díky vyššímu výkonu umožňuje lepší kopírování rychlostního profilu. Díky tomu je na staré i nové trati rychlejší než řada 363 a také umožní větší snížení jízdní doby.

Ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě je snížení jízdní doby skoro dvojnásobné. Mohou za to delší jízdní doby na staré trati a kratší jízdní doby na nové trati. Delší jízdní doby na staré trati jsou způsobeny horším rychlostním profilem 1. TK, zejména omezením rychlosti na $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ přes most za žst. Hoštejn. Kratší jízdní doby na nové trati jsou dány tím, že větší část trati se nachází v klesání a umožňuje dodržení maximální rychlosti po celou cestu. Obě hnací vozidla sníží jízdní dobu skoro o stejnou hodnotu. Rovnoměrnější průběh traťové rychlosti má tedy v tomto případě větší vliv na jízdní doby než v opačném směru. Vliv různých výkonů lokomotiv se projevuje v absolutních hodnotách jízdních dob na staré i na nové trati.

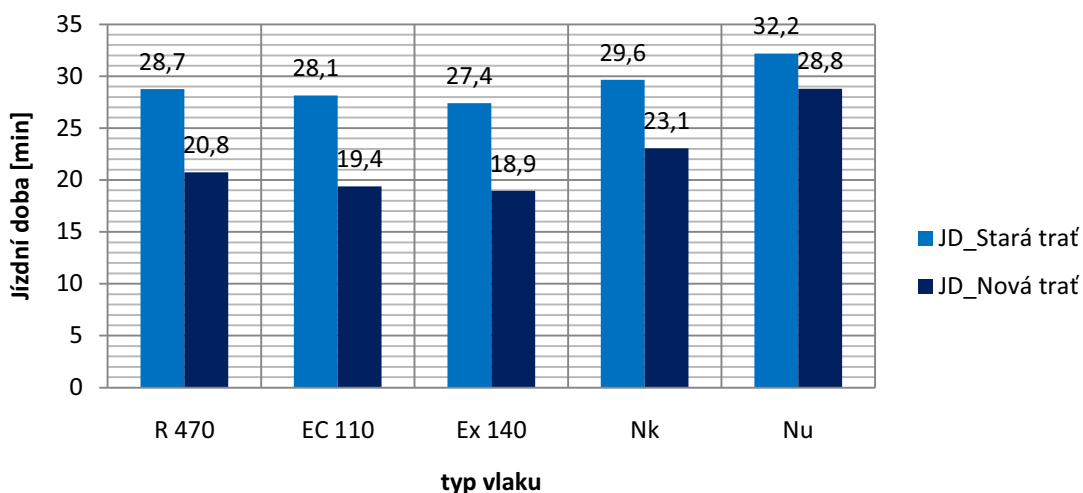
5.1.4 Porovnání jízdních dob pro všechny vlaky

Porovnání jízdních dob a jejich procentuelní snížení pro všechny vlaky, u nichž byl proveden výpočet, jsou uvedeny v Příloze 1 (na str. 60).

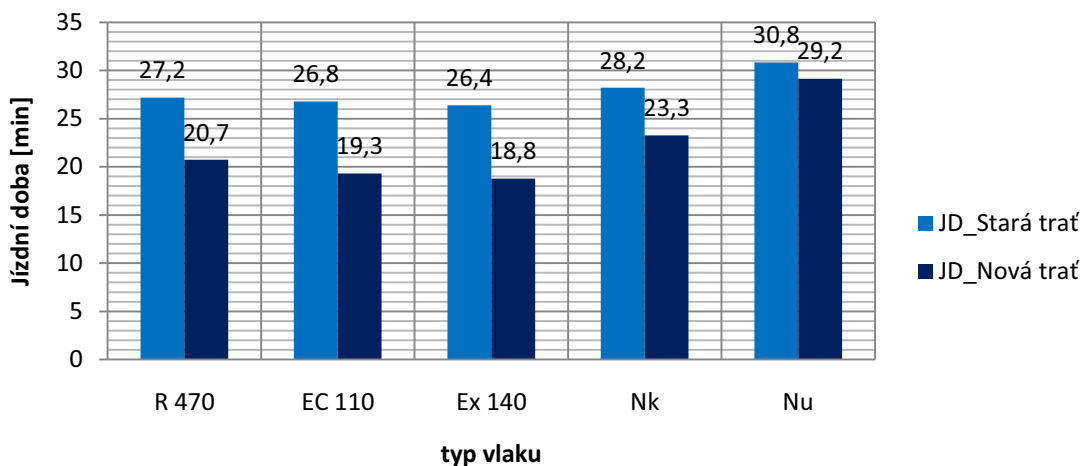
Z výpočtů jízdních dob lze vyvodit následující závěry. U všech vlaků samozřejmě došlo při porovnání staré a nové trati ke snížení jízdní doby. Vždy se zde projevuje vliv zkrácení stavební délky trati, více u 1. TK, neboť její zkrácení je větší než u 2. TK.

Ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě má na snížení jízdních dob přílepující vliv větší sklon nové trati (umožňuje vyšší hodnoty zrychlení). Procentuelní snížení jízdních dob je u vlaků osobní dopravy přibližně stejné (liší se v řádu do 2% pro každou lokomotivu při porovnání různých souprav). U vlaku R 470 nedosahují lokomotivy řady 151 a 380 tak velkého snížení jako u ostatních dvou vlaků, neboť maximální rychlost vlaku R 470 je pouze $140 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. U nákladních vlaků je snížení jízdních dob mnohem menší díky nižší maximální rychlosti těchto vlaků. Jízdní doby se u všech vlaků liší v závislosti na délce a hmotnosti vlaku. Jejich porovnání mezi všemi vlaky pro lokomotivu řady 380 je zobrazeno na Obr. 16.

Ve směru Zábřeh na Moravě – Česká Třebová má zhoršující vliv na jízdní doby větší sklonová náročnost nové trati, projevuje se však spíše jen u nákladních vlaků. U osobních vlaků se jízdní doby na nové trati skoro neliší. Při porovnání vlaků mezi sebou dochází opět k podobnému procentuelnímu snížení u všech osobních vlaků. U obou nákladních vlaků je snížení jízdní doby proti opačnému směru zhruba poloviční.



Obr. 16 – porovnání JD pro řadu 380 a různé vlaky (1. TK, CT-Z)



Obr. 17 – porovnání JD pro řadu 380 a různé vlaky (2. TK, Z-CT)

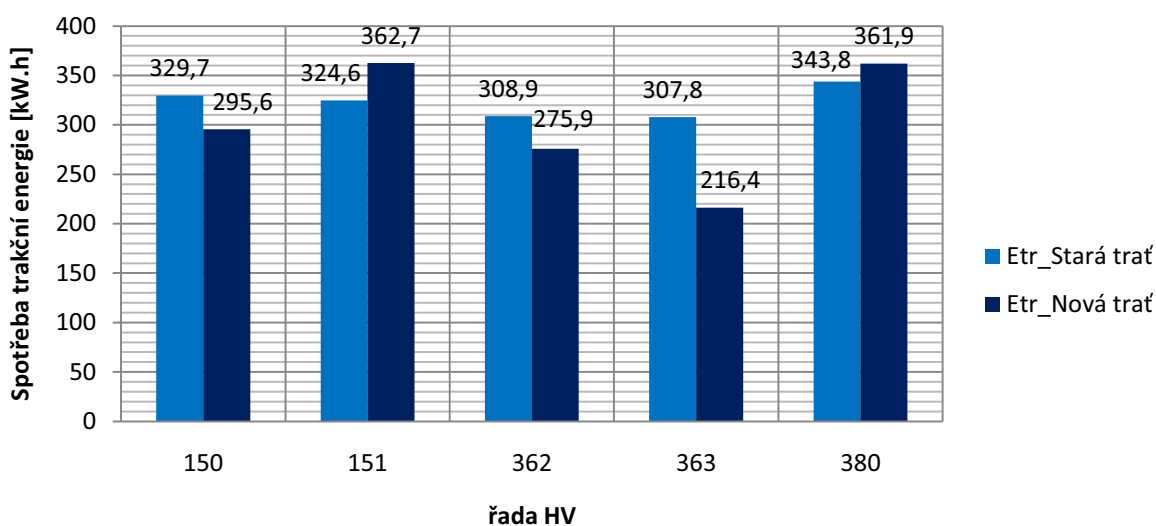
Celkové posouzení vlivu nerovnoměrnosti průběhu traťové rychlosti na jízdní doby bude uvedeno v kapitole 6. Zhodnocení výsledků.

5.2 Posouzení vlivu nerovnoměrnosti traťové rychlosti na spotřebu trakční energie

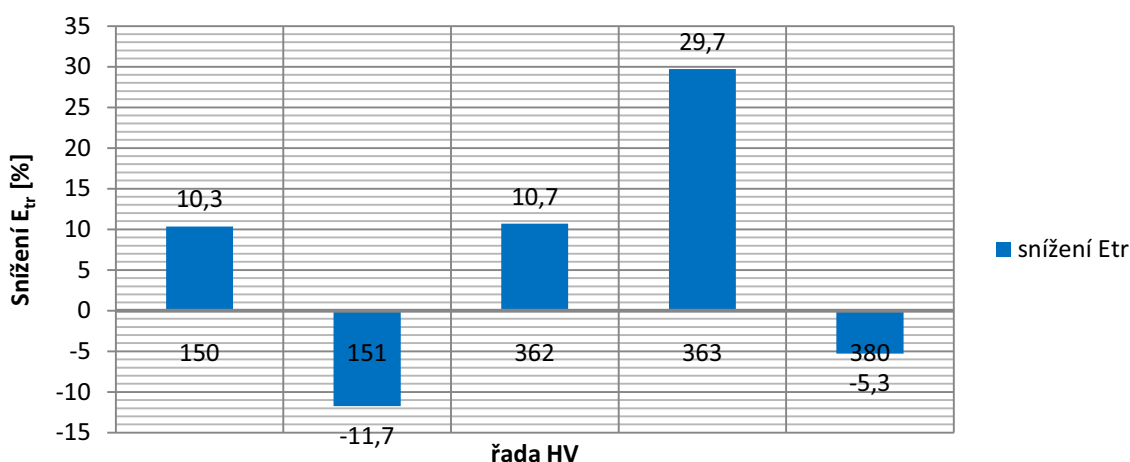
Úvodem k této části je nutno připomenout, že spotřeba energie závisí na tažné síle lokomotivy a na dráze po které lokomotiva tažnou sílu vyvíjí. Ke spotřebě trakční energie tak dochází především při rozjezdu vlaku, dále při udržování konstantní rychlosti z důvodu překonávání jízdních odporů, ať už vozidlových, nebo traťových, případně kombinaci obou. Na spotřebu energie má tedy významný vliv výkon daného hnacího vozidla.

5.2.1 Spotřeba trakční energie os. vlaků ve směru Č. Třebová – Zábřeh na Moravě

Vliv nerovnoměrnosti průběhu traťové rychlosti na spotřebu trakční energie můžeme sledovat na vlaku EC 110. Porovnání spotřeby trakční energie na staré a nové trati a její procentuelní snížení ukazují Obr. 18 a Obr. 19.



Obr. 18 – porovnání spotřeby trakční energie pro vlak EC 110 a různá HV (1. TK, CT-Z)



Obr. 19 – procentuelní snížení spotřeby tr. energie pro vlak EC 110 a různá HV (1. TK, CT-Z)

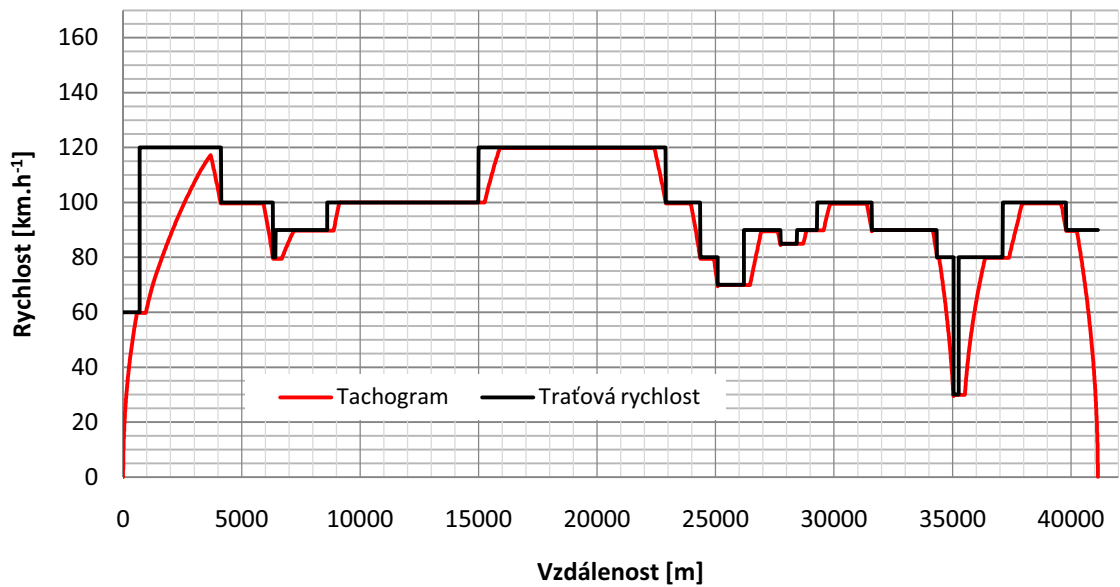
Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -35-
---	---------------------------------	-------------

Při porovnávání spotřeby trakční energie dojdeme k mnohem rozdílnějším výsledkům a větším změnám než tomu bylo u jízdních dob. Na staré trati se spotřeba energie pro různé lokomotivy liší v řádech jednotek až desítek kW·h. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší spotřebou činí přibližně 36 kW·h. Z Obr. 18 je dobře vidět vliv různých výkonů lokomotiv. Např. lokomotivy řad 150 a 151 mají stejný výkon 4000 kW a spotřebou se liší o 5 kW·h. Rozdíl vzniká pouze tím, že lokomotiva řady 151 díky nižšímu převodu vyvíjí menší tažnou sílu, ale její rozjezdy probíhají po delší dráze.

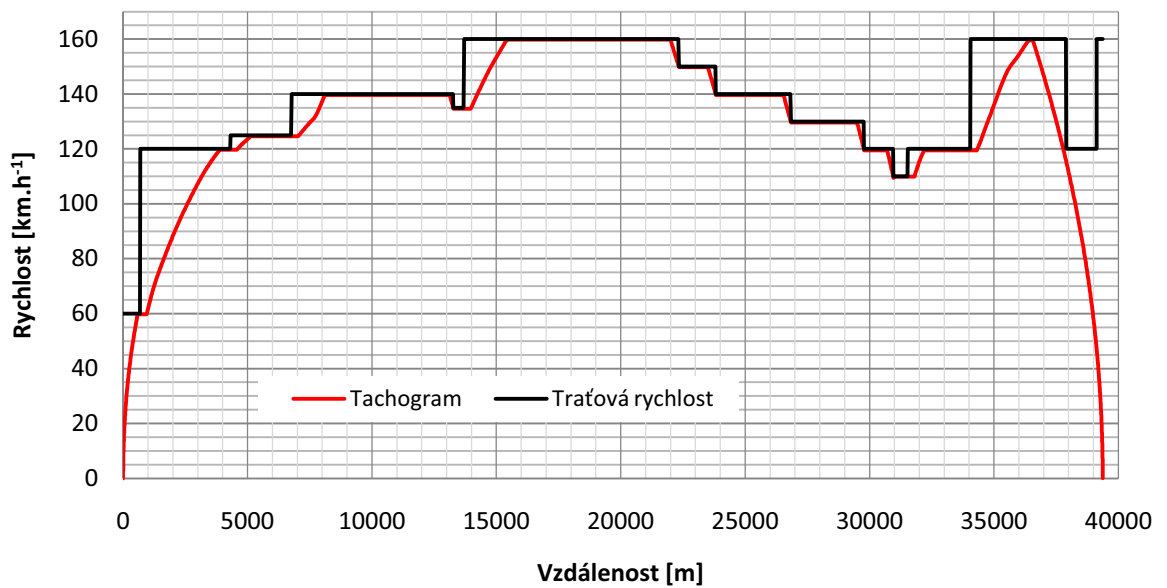
Na nové trati se již spotřeba pro různé lokomotivy výrazně liší. Rozhodujícím faktorem je maximální rychlost daných lokomotiv. Jak je vidět z grafu na Obr. 19 u lokomotiv řad 151 a 380 dojde na nové trati dokonce ke zvýšení spotřeby trakční energie. Rozdíl mezi lokomotivami s nejvyšší a nejnižší spotřebou (mezi řadou 151 a 363) činí 146,4 kW·h, což jsou přibližně dvě třetiny spotřeby lokomotivy řady 363 na nové trati.

Vliv nerovnoměrnosti průběhu traťové rychlosti na spotřebu trakční energie bude vysvětlen na lokomotivách řad 363 a 151. Čím vzniká rozdíl spotřeby energie, je možné zjistit z tachogramů těchto lokomotiv. Pro řadu 363 uvedených již v předchozí kapitole na Obr. 10 a Obr. 11, pro řadu 151 uvedených na Obr. 20 a Obr. 21. Z tachogramu je vidět, že u lokomotivy řady 363 na staré trati dochází k rozjezdu vlaku celkem osmkrát (pokud nepočítáme počáteční rozjezd na $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, který je na staré i nové trati stejný). Na nové trati se vlak rozjíždí pouze jednou, jinak jede stálou rychlostí, energie se tedy spotřebovává pouze na překonávání jízdních odporů. U lokomotivy řady 151 je situace složitější. K více rozjezdům dochází i na nové trati, především jsou to rozjezdy na vyšší rychlost než u řady 363. Rozjezd se tak koná po delší dráze. Při vyšších rychlostech jsou také vyšší vozidlové odpory. Jak moc velký je vliv nerovnoměrnosti průběhu traťové rychlosti na spotřebu energie u řady 151 nelze přesně stanovit, traťový profil je nerovnoměrný na staré i nové trati. Každopádně můžeme říct, že spotřebu energie zvyšuje. Pokud by teoreticky byla traťová rychlost v celém úseku $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ za stejných traťových poměrů, byla by spotřeba trakční energie lokomotivy řady 151 jen 309,6 kW·h, což je o 53,2 kW·h méně, než je tomu ve skutečnosti. Zároveň to znamená dokonce snížení spotřeby proti staré trati o necelých 5%.

Jak je vidět z tachogramu na Obr. 21, k celkem zbytečné spotřebě energie dochází v úseku mezi stanicemi Hoštejn a Zábřeh na Moravě, kde je úsek s dovolenou rychlostí $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. dlouhý jen 3,845 km. Řada 151 zde dosáhne úspory jízdní doby proti řadě 363 pouhých 15 s. Spotřeba trakční energie na tento rozjezd je přitom 60 kW·h.



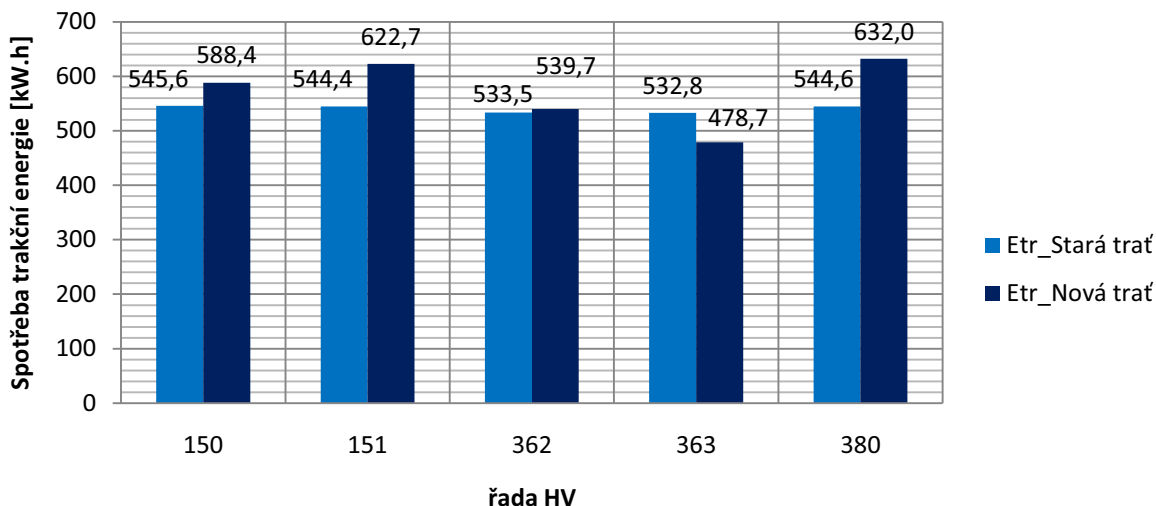
Obr. 20 – tachogram jízdy lokomotivy 151 s vlakem EC 110 po staré trati (1. TK, CT-Z)



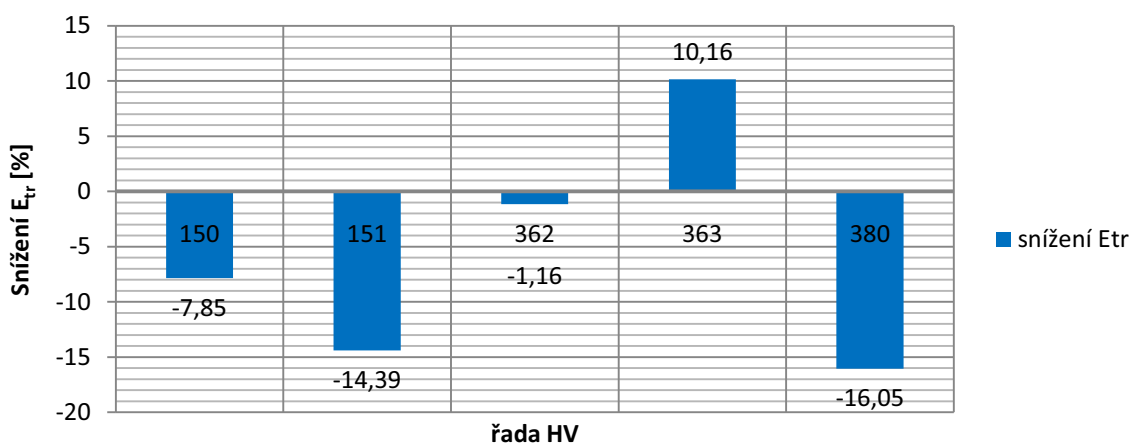
Obr. 21 – tachogram jízdy lokomotivy 151 s vlakem EC 110 po nové trati (1. TK, CT-Z)

5.2.2 Spotřeba trakční energie os. vlaků ve směru Zábřeh na Moravě - Č. Třebová

Porovnání spotřeby trakční energie a její procentuelní snížení pro vlak EC 110 v tomto směru je v grafech na Obr. 22 a Obr. 23.



Obr. 22 – porovnání spotřeby trakční energie pro vlak EC 110 a různá HV (2. TK, Z-CT)



Obr. 23 – procentuelní snížení spotřeby tr. energie pro vlak EC 110 a různá HV (2. TK, Z-CT)

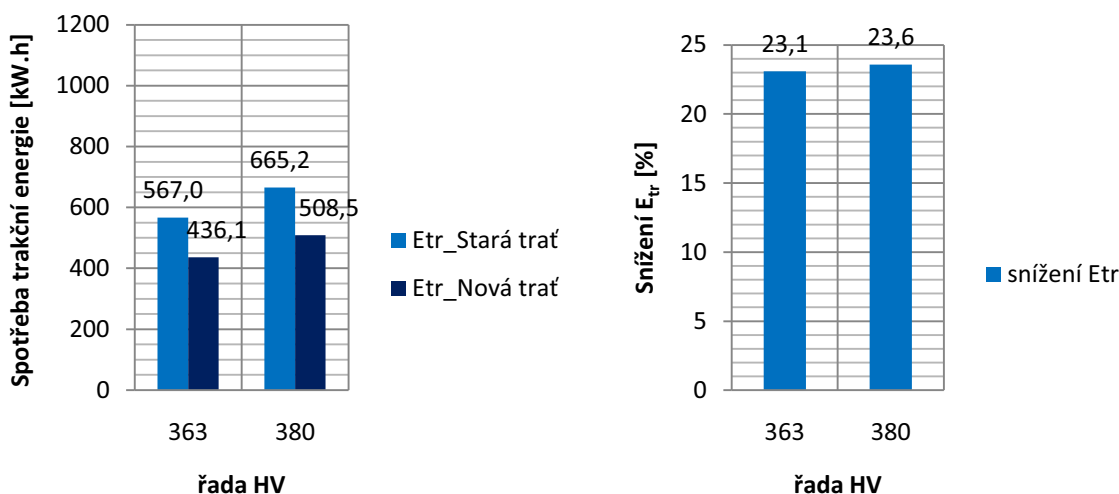
Ačkoliv je na staré trati 2. TK kratší a její rychlostní profil příznivější, dochází zde u všech vlaků k nárůstu spotřeby energie zhruba o 40% proti opačnému směru. Příčinou tohoto nárůstu je fakt, že ve směru jízdy ze Zábřehu je větší část trati ve stoupání. Při porovnání jednotlivých lokomotiv se spotřeba energie liší jen málo (o 12,8 kW·h mezi lokomotivami s nejvyšší a nejnižší spotřebou). Záleží tak opět hlavně na výkonech lokomotiv.

V případě nové trati tentokrát sníží spotřebu energie pouze lokomotiva řady 363. U ostatních lokomotiv je spotřeba energie v porovnání se starou tratí vyšší. Toto zvýšení závisí na maximální rychlosti dané lokomotivy a jejich vozidlových odporech. Ke spotřebě trakční energie tak prakticky dochází celou cestu až k vrcholu trati s výjimkou míst, kde dochází k brzdění kvůli snížení traťové rychlosti.

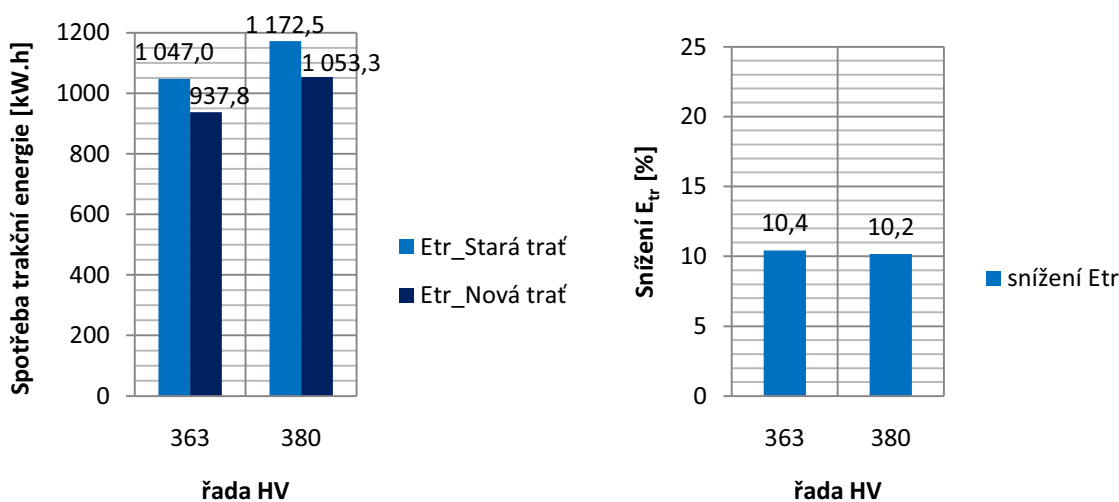
Ve směru Zábřeh na Moravě – Česká Třebová je vliv nerovnoměrnosti průběhu traťové rychlosti na spotřebu energie menší, než v opačném směru. Pokud by traťová rychlost umožňovala jet vlaku svou maximální rychlostí celou trasu (rychlostní profil by byl rovnoměrný) stejně by ke snížení spotřeby energie nedošlo (s výjimkou lokomotiv řad 363 a 362). U lokomotiv řad 150 a 380 by zvýšení spotřeby energie nebylo tak velké jako ve skutečnosti. Ovšem lokomotiva řady 151 by při udržování rychlosti $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ svou spotřebu proti skutečnosti ještě zvýšila.

5.2.3 Spotřeba trakční energie u nákladních vlaků

Porovnání spotřeby trakční energie bude ukázáno na vlaku označeném Nk. Grafické znázornění spotřeby energie na staré a nové trati a její procentuelní snížení pro oba směry je na Obr. 24 a Obr. 25.



Obr. 24 – porovnání E_{tr} a její snížení pro vlak Nk (1. TK, CT-Z)



Obr. 25 – porovnání E_{tr} a její snížení pro vlak Nk (2. TK, Z-CT)

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -39-
---	---------------------------------	-------------

V případě nákladních vlaků je možné na nové trati v obou směrech dosáhnout snížení spotřeby trakční energie.

Ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě je spotřeba energie nižší zhruba o 23% u obou posuzovaných lokomotiv. Řada 380 má vyšší spotřebu energie díky svému vyššímu výkonu. Vliv průběhu traťové rychlosti je zde podobný jako u vlaku osobní dopravy vedeném řadou 363. Uvedený kontejnerový nákladní vlak má taktéž maximální rychlost $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Díky změně traťového profilu tak i tento vlak může jet konstantní rychlostí většinu trasy a nedochází zde k opětovným rozjezdům z nižších rychlostí.

Opačný směr je sklonově více náročný, spotřeba trakční energie je zde pro nákladní vlak přibližně dvojnásobná, na staré i na nové trati. Naopak procentuelní snížení spotřeby je poloviční, což je stejně jako v případě jízdních dob dáno hlavně příznivějším profilem 2. TK a její kratší stavební délkou.

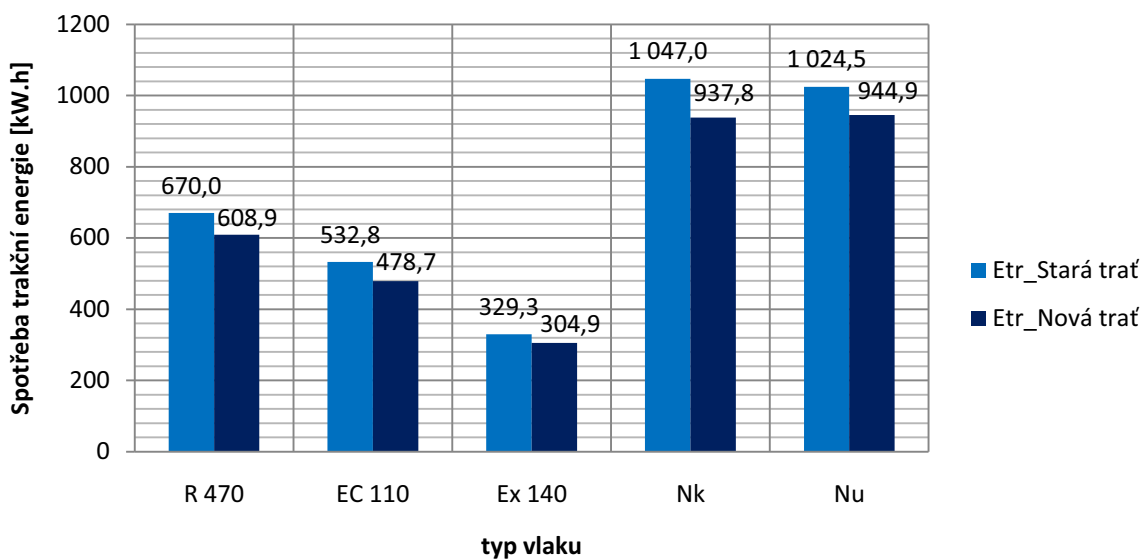
5.2.4 Porovnání spotřeby trakční energie pro všechny vlaky

Na rozdíl od jízdních dob má z hlediska spotřeby trakční energie na všechny vlaky mnohem větší vliv sklon trati. Při jízdě ve směru Zábřeh na Moravě – Česká Třebová po nové trati je spotřeba trakční energie $1,6 \div 2,6$ násobně větší pro různé typy vlaků než ve směru opačném.

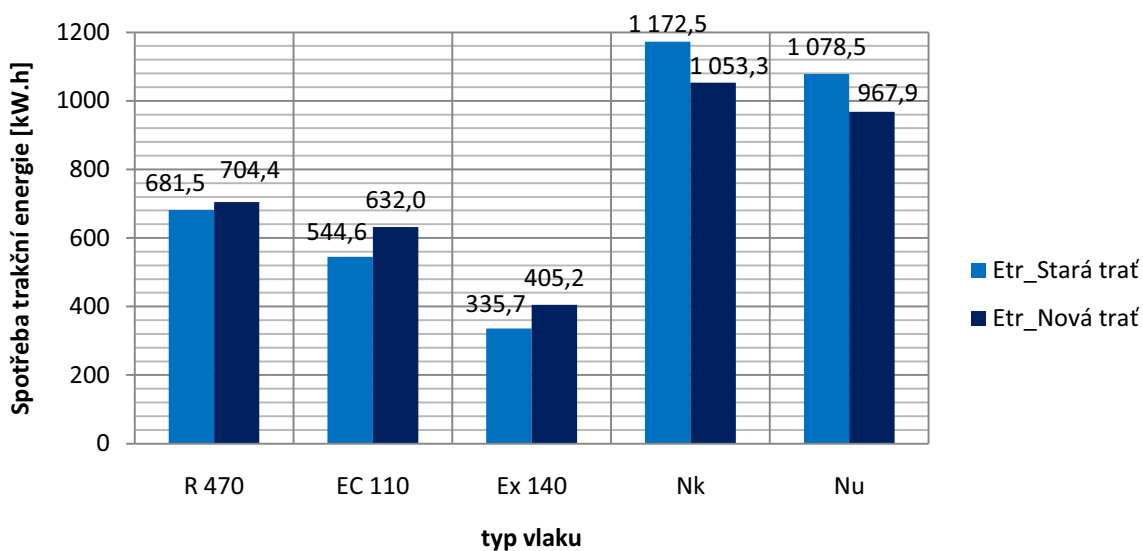
Velký vliv na spotřebu trakční energie má také hmotnost vlaku. Rozdíly ve spotřebě pro různé typy vlaků jsou ukázány na Obr. 26 (pro řadu 363) a na Obr. 27 (pro řadu 380).

Z hlediska vlivu průběhu traťové rychlosti na spotřebu trakční energie lze vyvodit tyto závěry. Ke snížení spotřeby energie dochází ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě u vlaků jedoucích maximální rychlostí $140 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a méně. Největší úspory dosáhne nákladní vlak Nu s lokomotivou řady 380, proti staré trati uspoří $211,6 \text{ kW}\cdot\text{h}$, což je zhruba 36% původní spotřeby. Podle těchto výsledků je možné tvrdit, že čím vyšší rychlostí vlak jede na nové trati, tím menší je snížení jeho spotřeby. U nejrychlejších vlaků (EC 110 a Ex 140) s lokomotivami řad 151 a 380 je spotřeba energie na nové trati vyšší, což je dáno právě nutností rozjezdu na rychlost $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Navíc k tomuto rozjezdu dochází opakovaně.

V opačném směru dochází ke snížení spotřeby trakční energie u vlaků jedoucích maximální rychlostí $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a méně. Díky sklonovým poměrům je rozjezd na vyšší rychlosti energeticky náročnější a spotřeba se zvyšuje. Tento fakt je ilustrován na Obr. 26 – v případě lokomotivy řady 363 dojde u všech vlaků ke snížení spotřeby energie. V případě lokomotivy řady 380 (viz Obr. 27) je spotřeba energie u osobních vlaků vyšší. Vliv zrovnomenění rychlostního profilu se tak příznivě projevuje pouze u nákladních vlaků a u pomalejších vlaků osobních (vedených řadou 363). Teoretické zrovnomenění rychlostního profilu na $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ by úsporu energie proti staré trati nepřineslo, neboť energetická náročnost rozjezdu na tuto rychlost a její udržování ve sklonech až 10‰ je příliš vysoká.



Obr. 26 – porovnání E_{tr} pro řadu 363 a různé vlaky (1. TK, CT-Z)



Obr. 27 – porovnání E_{tr} pro řadu 380 a různé vlaky (2. TK, Z-CT)

Porovnání spotřeby trakční energie a jejího snížení pro všechny vlaky v obou směrech je uvedeno v Příloze 2 (str. 68).

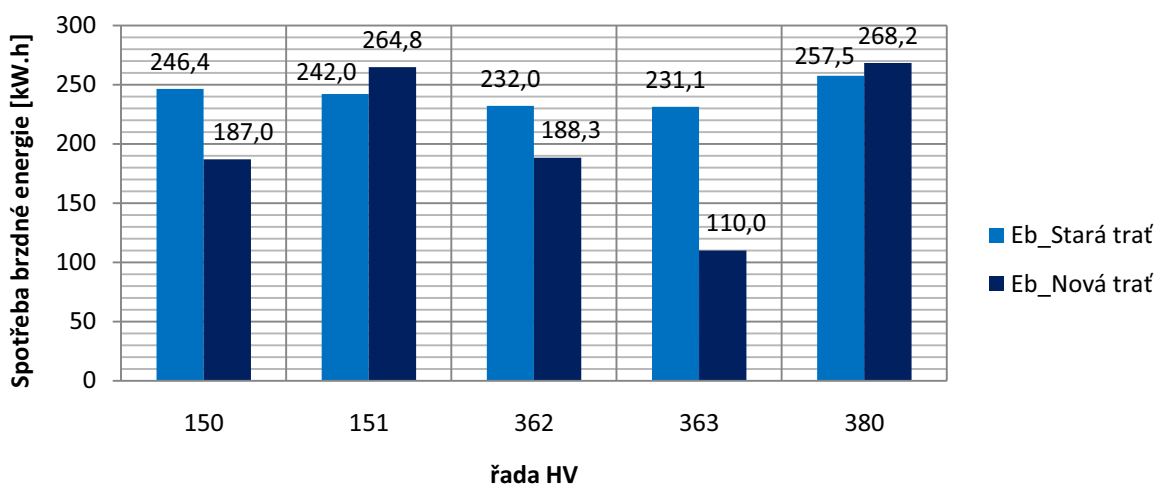
5.3 Posouzení vlivu nerovnoměrnosti trat'ové rychlosti na spotřebu brzdné energie

Brzdná energie je energie, která se spotřebovává při snižování rychlosti vlaku, nebo při udržování stále rychlosti při jízdě do klesání. Do spotřeby brzdné energie lze zahrnout maření elektrické energie v odporácích při elektrodynamickém brzdění, ale hlavně opotřebování brzdových špalíků/kotoučů a obručí kol při adhezním brzdění.

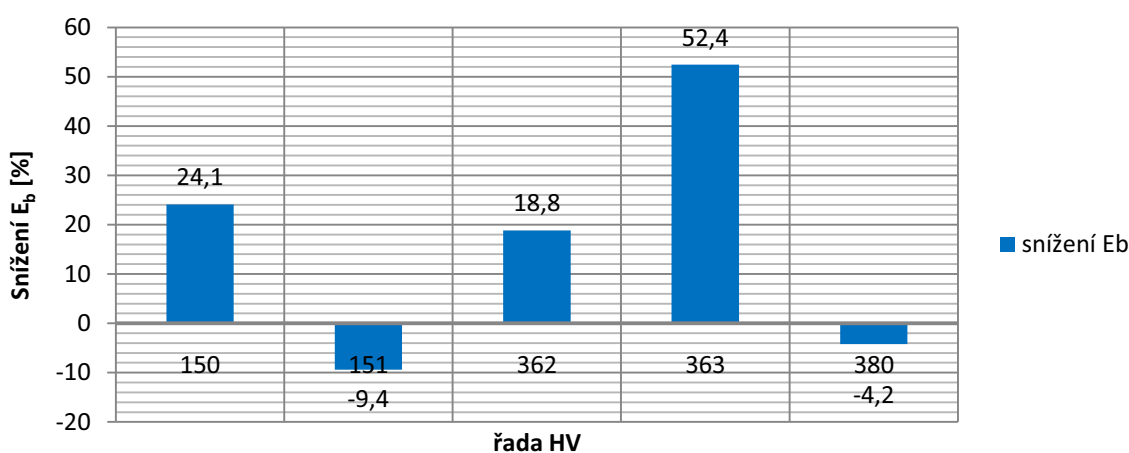
Situace ohledně spotřeby brzdné energie je jednodušší než u spotřeby energie trakční, neboť výpočet průběhu brzdění je v programu počítán s konstantním brzdým zrychlením stejným pro všechny lokomotivy – různé výkonové možnosti lokomotiv se tak neprojevují, ale stále se projevují různé jízdni odpory.

5.3.1 Spotřeba brzdné energie os. vlaků ve směru Č. Třebová – Zábřeh na Moravě

Pro porovnání spotřeby brzdné energie poslouží opět vlak EC 110. Grafické zobrazení spotřeby brzdné energie na staré a nové trati a její snížení ukazují Obr. 28 a Obr. 29.



Obr. 28 – porovnání spotřeby brzdné energie pro vlak EC 110 a různá HV (1. TK, CT-Z)



Obr. 29 – procentuelní snížení spotřeby E_b pro vlak EC 110 a různá HV (1. TK, CT-Z)

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -42-
---	---------------------------------	-------------

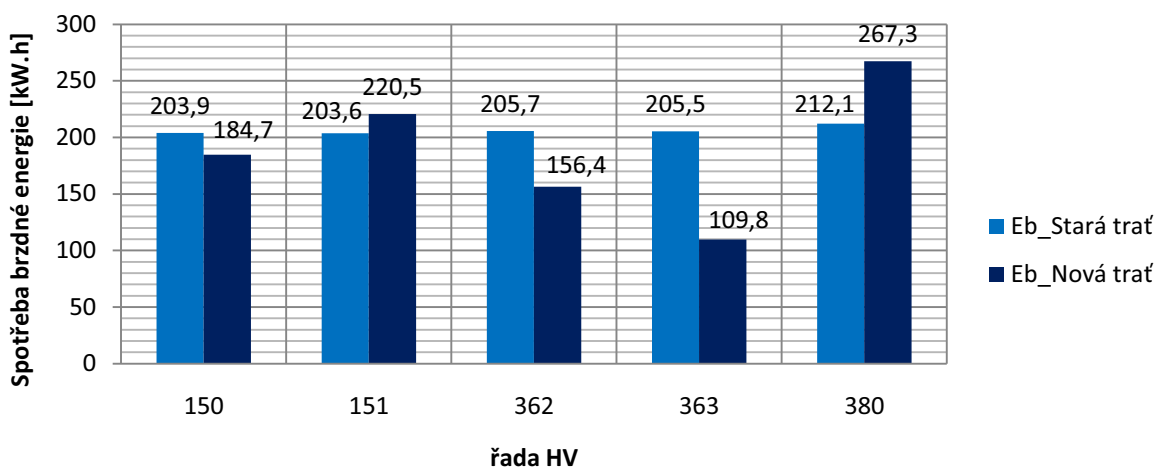
Spotřeba brzdné energie je nižší než spotřeba energie trakční. Je tomu tak proto, že jízdni odpory mají zlepšující vliv na brzdění. Brzdná síla je tedy menší než síla tažná. Díky větší absolutní hodnotě brzdného zrychlení (odrychlení) v porovnání se zrychlením při rozjezdu se brzdění koná po kratší dráze. Toto se nejvíce projevuje u těžších vlaků, kde je rozdíl mezi zrychlením a odrychlením největší.

Na spotřebě brzdné energie je nejlépe pozorovatelný vliv nerovnoměrnosti traťové rychlosti, protože tato spotřeba je nejméně ovlivněna ostatními vlivy. Závisí tedy hlavně na počtu snižování rychlosti, na hodnotě rychlosti, ze které se brzdění koná a na rozdílu počáteční a konečné rychlosti při brzdění. Rozdíly mezi snížením spotřeby brzdné energie pro různé lokomotivy vidíme na Obr. 29. Největšího snížení spotřeby dosáhne opět řada 363, a to snížení více než 50%. Na tachogramu řady lokomotivy řady 363 s vlakem Ex 140 po nové trati uvedeném na Obr. 11 je vidět, že k brzdění dochází jen dvakrát a z toho jednou se jedná o brzdění do zastavení. U řad 151 a 380 je spotřeba brzdné energie vyšší. Stejně jako u spotřeby trakční energie je to v důsledku jejich vyšší konstrukční rychlosti. Brzdění se tedy celkově koná po delší dráze než na staré trati.

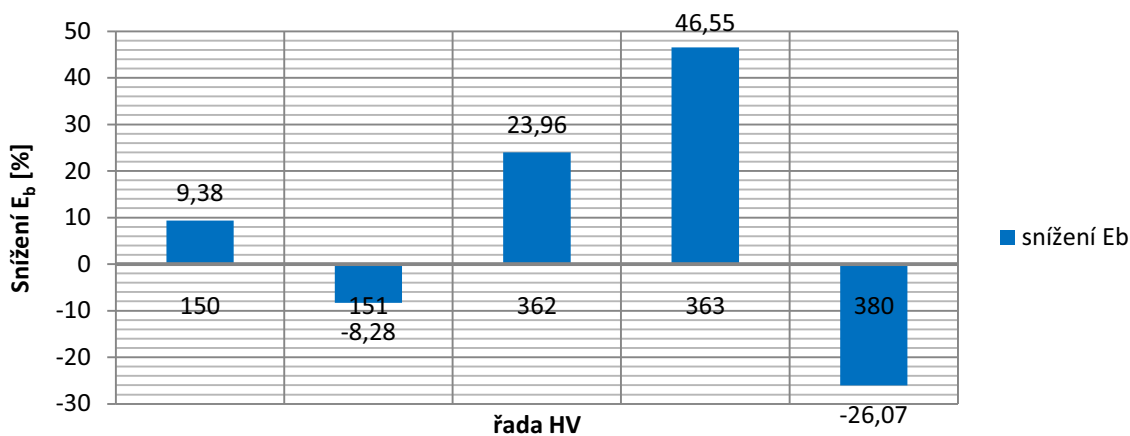
5.3.2 Spotřeba brzdné energie os. vlaků ve směru Zábřeh na Moravě - Č. Třebová

Z porovnání spotřeby brzdné energie uvedené v grafu na Obr. 30 vyplývá, že zde dochází k podobnému snížení jako v opačném směru. Absolutní hodnoty spotřeby energie jsou proti opačnému směru nižší. Na staré trati tomu přispívá jiný rychlostní profil 2. TK – ke snižování rychlosti zde dochází v menší míře. Na nové trati snižují potřebu brzdění vyšší traťové odpory, především sklon – větší část trati je ve stoupání.

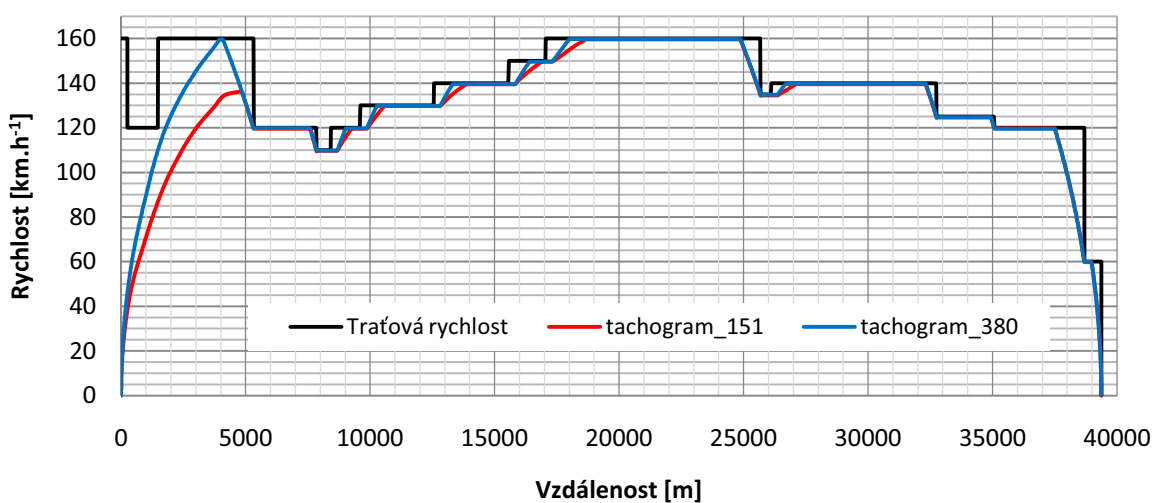
Vliv průběhu traťové rychlosti na spotřebu energie je opět nejvíce znát na řadě 363, u které došlo ke snížení o 46%. Naopak u lokomotiv 151 a 380 je spotřeba brzdné energie vyšší. Větší odlišnosti mezi těmito dvěma řadami vznikly tím, že lokomotiva řady 380 je schopna rozjet vlak na $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ i v krátkém úseku mezi Zábřehem na Moravě a Hoštejnem. Proti řadě 151 tak v tomto místě brzdí z vyšší rychlosti, řada 151 totiž v tomto úseku dosáhne pouze rychlosti $136 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Porovnání jízdy těchto lokomotiv je uvedeno v tachogramu na Obr. 32.



Obr. 30 – porovnání spotřeby brzdné energie pro vlak EC 110 a různá HV (2. TK, Z-CT)



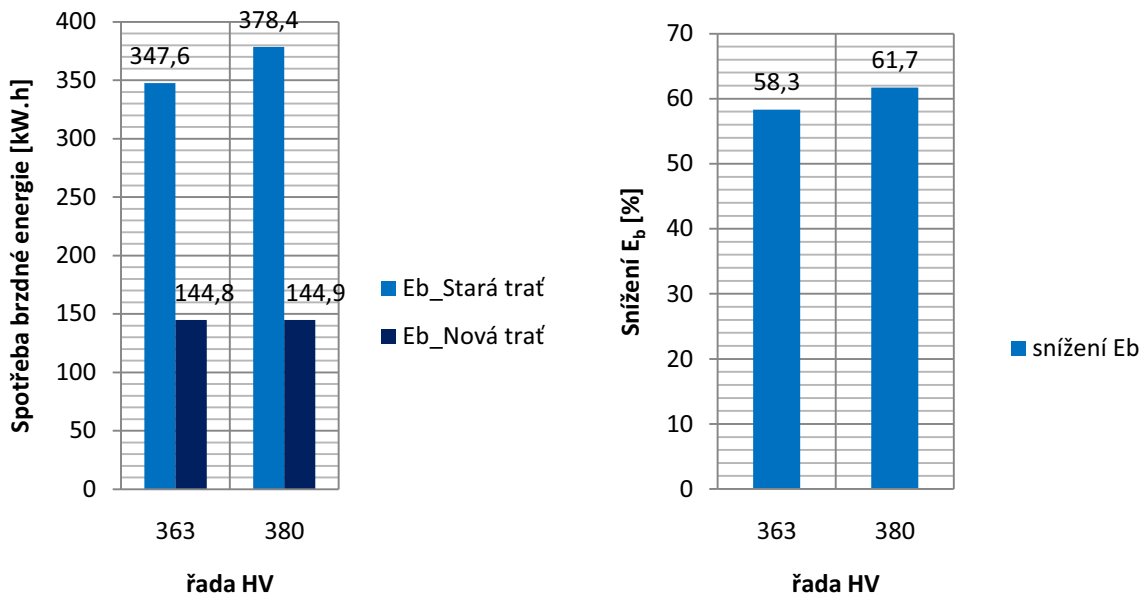
Obr. 31 – procentuelní snížení spotřeby E_b pro vlak EC 110 a různá HV (2. TK, Z-CT)



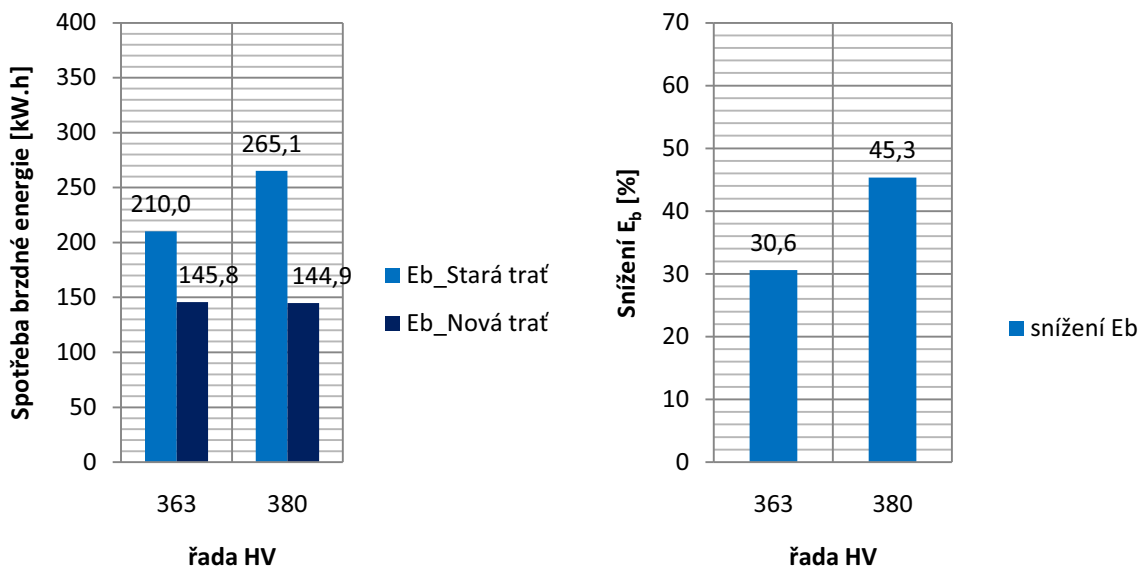
Obr. 32 – tachogram jízdy lokomotiv 151 a 380 s vlakem EC 110 po nové trati (2. TK, Z-CT)

5.3.3 Spotřeba brzdné energie u nákladních vlaků

Porovnání spotřeby brzdné energie a její procentuelní snížení ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě je uvedeno Obr. 33, pro opačný směr na Obr. 34.



Obr. 33 – porovnání E_b a její snížení pro vlak Nu (1. TK, CT-Z)



Obr. 34 – porovnání E_b a její snížení pro vlak Nu (2. TK, Z-CT)

U tohoto nákladního je zajímavým výsledkem skoro stejná spotřeba brzdné energie na nové trati pro obě lokomotivy v obou směrech. K brzdění zde totiž dochází pouze při zastavování do cílové stanice. Traťová rychlost je vždy vyšší než maximální rychlost vlaku a jeho jízdu tak po celou trasu neovlivňuje.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -45-
---	---------------------------------	-------------

Při jízdě na staré trati je spotřeba brzdné energie vyšší ve směru Česká Třebová – Zábřeh na M. opět z důvodu nepříznivějších rychlostních poměrů 1. TK, zejména zpomalením na $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ za stanicí Hoštejn. Různost spotřeby pro dané lokomotivy mezi sebou spočívá v tom, že řada 363 v některých místech nedosáhne díky svému výkonu maximální rychlosti na trati a při nejbližším zpomalení brzdí z nižší rychlosti než lokomotiva řady 380.

5.3.4 Porovnání spotřeby brzdné energie pro všechny vlaky

Jak již bylo řečeno v úvodu této kapitoly, na spotřebu brzdné energie má největší podíl právě průběh traťové rychlosti, resp. jím způsobený počet zpomalování a rychlost ze které vlak zpomaluje.

Ke snížení spotřeby brzdné energie dochází u všech vlaků jedoucích rychlostí menší, nebo rovnou $140 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Vlaky EC 110 a Ex 140 s lokomotivami řady 151 a 380 mají v obou směrech spotřebu brzdné energie vyšší. Důvodem je to, že celková vzdálenost, kdy tyto vlaky brzdí je větší na nové trati. Pokud by traťová rychlost byla $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ v celé trase za stejných traťových poměrů, byla by i u těchto vlaků spotřeba brzdné energie nižší než na staré trati.

U nákladních vlaků se vždy příznivě projevuje možnost jet na nové trati konstantní rychlostí prakticky po celém úseku. Např. u vlaku Nu je ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě dosaženo snížení až okolo 60% pro obě posuzované lokomotivy (viz Obr. 88).

Vytvořením rovnoměrného traťového profilu lze uspořit brzdnou energii u všech kategorií vlaků se všemi typy lokomotiv v obou směrech. Bohužel současná podoba trati pro vlaky využívající rychlostní profil v plném rozsahu snížení spotřeby brzdné energie díky své nerovnoměrnosti neumožňuje.

Porovnání spotřeby brzdné energie a jejího snížení pro všechny vlaky v obou směrech je uvedeno v Příloze 3 (str. 76).

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -46-
---	---------------------------------	-------------

5.4 Celkové porovnání vlivu průběhu traťové rychlosti pro dané lokomotivy

V této části bakalářské práce jsem se zabýval tím, jaký vliv má na počítané veličiny rekonstrukce trati, resp. s tím související změna rychlostního profilu při porovnání jednotlivých hnacích vozidel a souprav vlaků mezi sebou.

5.4.1 Výpočet porovnávacího koeficientu

Následující výpočty vychází z požadavku, že při rekonstrukci trati je požadováno, aby došlo k co největšímu snížení jízdních dob a zároveň k co největšímu snížení spotřeby trakční i brzdě energie, resp. nedošlo ke zvýšení spotřeby energie, případně aby toto zvýšení nebylo vysoké. Tomu odpovídá počítaný porovnávací koeficient. Platí tedy, že čím vyšší je jeho hodnota, tím lépe jsou pro dané hnací vozidlo splněny požadavky na snížení jízdních dob a spotřeby energie.

Celkový porovnávací koeficient (K_C) zohledňující snížení všech třech vypočítaných veličin je roven součinu dílčích tří koeficientů. Mezi tyto tři koeficienty patří koeficient respektující snížení jízdních dob (K_{JD}), koeficient respektující snížení spotřeby trakční energie (K_{Etr}) a koeficient respektující snížení spotřeby brzdě energie (K_{Eb}). Výpočet dílčích koeficientů je proveden podle rovnic (29), (30) a (31), výpočet celkového porovnávacího koeficientu je proveden podle rovnice (32).

$$K_{JD} = \left(1 + \frac{A_{JD}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{B_{JD}}{100}\right) \quad (29)$$

$$K_{Etr} = \left(1 + \frac{A_{Etr}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{B_{Etr}}{100}\right) \quad (30)$$

$$K_{Eb} = \left(1 + \frac{A_{Eb}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{B_{Eb}}{100}\right) \quad (31)$$

$$K_C = K_{JD} \cdot K_{Etr} \cdot K_{Eb} \quad (32)$$

Veličina A_X ve výpočtu koeficientu znamená o kolik procent je daná veličina při jízdě po staré trati pro posuzované hnací vozidlo **vyšší** než u řady 363 při jízdě po staré trati. Veličina B_X ve výpočtu koeficientu znamená o kolik procent je daná veličina při jízdě po nové trati pro posuzované hnací vozidlo **nižší** než u řady 363 při jízdě po staré trati. Veličiny A_X a B_X jsou ve výpočtu děleny 100, jelikož se jedná o hodnoty v procentech. Přičtení jedničky je ve vzorci proto, aby jednotlivé části výpočtu koeficientu nedosahovaly záporných hodnot, čímž by mohlo dojít ke znehodnocení výsledku. Pokud je tedy dílčí výsledek (hodnota v první, nebo druhé závorce) menší než jedna, má hodnota tohoto výsledku zhoršující vliv na celkový koeficient, pokud je větší než jedna, má vliv přílepující. Porovnání koeficientu je vtažené k jiné lokomotivě právě proto, aby lokomotivy bylo možné porovnat mezi sebou. Řada 363 je zvolena proto, že se jedná o nejpomalejší lokomotivu. Na posouzení koeficientů mezi sebou, ale nemá zvolená porovnávací lokomotiva vliv.

Postup výpočtu porovnávacího koeficientu je lepší ukázat na příkladu. Modelovým příkladem budiž vlak EC 110 ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě.

Na začátku je třeba znát hodnoty jednotlivých veličin vycházejících z výpočtu v programu. Tyto hodnoty jsou uvedeny v Tab. 10.

Tab. 10 – hodnoty jízdních dob a spotřeby energie pro vlak EC 110

	Jízdní doby		Spotřeba trakční energie		Spotřeba brzdné energie	
	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať
Řada HV	[min]	[min]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]
150	28,49	20,19	329,67	295,57	246,44	187,03
151	28,63	19,82	324,59	362,72	241,98	264,79
362	28,76	20,50	308,91	275,91	231,98	188,31
363	28,64	22,12	307,78	216,36	231,12	109,96
380	28,14	19,38	343,80	361,90	257,45	268,24

Jako první můžeme spočítat např. koeficient snížení jízdních dob pro řadu 150. Nejprve je tedy nutné spočítat dílčí veličiny A_{JD} a B_{JD} podle rovnic (33) a (34).

$$A_{JD} = 100 \cdot JD_{150ST} / JD_{363ST} - 100 \quad (33)$$

$$B_{JD} = 100 - 100 \cdot JD_{150NO} / JD_{363ST} \quad (34)$$

Nejprve vypočteme veličinu B_{JD} dosazením jízdní doby lokomotivy řady 150 na nové trati, tedy $JD_{150NO} = 20,19$ min, a dosazením jízdní doby lokomotivy řady 363 na staré trati, tedy $JD_{363ST} = 28,64$ min. Veličina B_{JD} pak vychází rovna **29,5%** a znamená, že řada 150 na nové trati dosáhne **snížení** jízdní doby proti řadě 363 na staré trati o 29,5%. Aby byl zohledněn vliv různé jízdní doby lokomotivy řady 150 na staré trati je počítána veličina A_{JD} . Ta po dosazení jízdní doby řady 150 na staré trati $JD_{150ST} = 28,49$ min vychází rovna **-0,52%**. Tzn., že řada 150 je na staré trati o 0,52% rychlejší než řada 363, a tedy snížení jízdní doby lokomotivy řady 150 v porovnání na staré a nové trati není 29,5%, ale je menší (konkrétně 29,1% - vypočteno z Tab. 29).

Dosazením do rovnice (29) vypočteme koeficient snížení jízdních dob pro lokomotivu řady 150 s vlakem EC 110.

$$K_{JD150} = \left(1 - \frac{0,52}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{29,5}{100}\right) = 0,9948 \cdot 1,295 = 1,2882 \quad (35)$$

Výpočet koeficientu zohledňujícího snížení jízdních dob je pro ostatní lokomotivy proveden stejným způsobem. Výsledky tohoto výpočtu jsou uvedeny v Tab. 11.

Koeficient zohledňující snížení spotřeby trakční energie lze vypočítat stejným způsobem jako u jízdních dob s tím rozdílem, že do vzorců pro výpočet A_x a B_x jsou dosazovány hodnoty spotřeby trakční energie. Např. pro řadu 151 je výpočet následující.

$$A_{Etr} = 100 \cdot Etr_{151ST} / Etr_{363ST} - 100 \quad (36)$$

$$B_{Etr} = 100 - 100 \cdot Etr_{151NO} / Etr_{363ST} \quad (37)$$

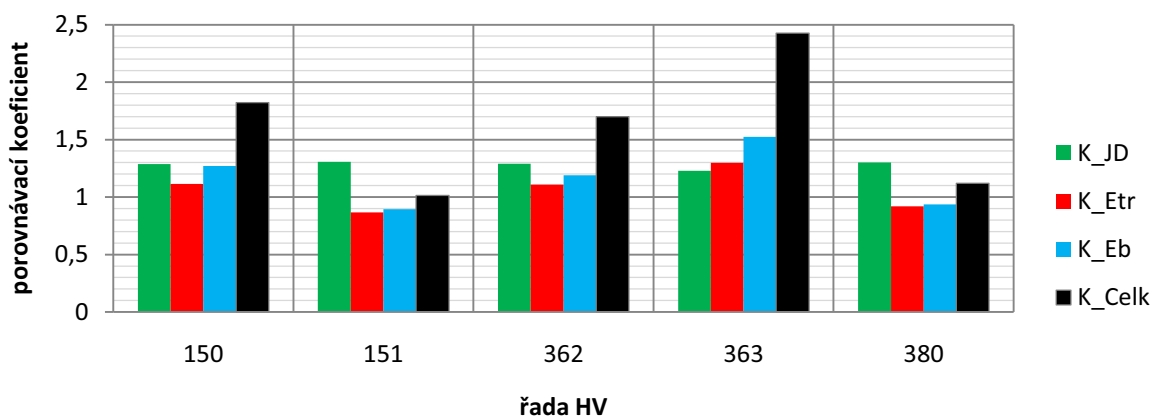
Dosazením hodnot spotřeby trakční energie z Tab. 10 do rovnic (36) a (37) vychází hodnoty veličin $A_{Etr} = 5,46\%$ a $B_{Etr} = -17,85\%$. Výsledkem je, že lokomotiva řady 151 zvýší spotřebu trakční energie na nové trati proti řadě 363 na staré trati o 17,85%. Na staré trati má řada 151 proti řadě 363 spotřebu energie o 5,46% větší. Spotřeba trakční energie u řady 151 se tedy v porovnání staré a nové trati zvýší o méně než 17,85% (konkrétně o 11,75% - vypočteno z Tab. 29).

$$K_{Etr150} = \left(1 + \frac{5,46}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{17,85}{100}\right) = 1,0546 \cdot 0,8215 = 0,8664 \quad (38)$$

Pro ostatní lokomotivy je postup výpočtu stejný. Stejně tak výpočet koeficientu K_{Eb} je proveden stejným postupem a liší se pouze dosazením hodnot spotřeby brzdné energie. Porovnání všech dílčích koeficientů i celkového koeficientu pro posuzované lokomotivy a vlak EC 110 znázorňuje Tab. 11, graficky pak Obr. 35.

Tab. 11 – porovnávací koef. pro vlak EC 110 (1. TK, CT-Z)

Řada HV	K_{JD}	K_{Etr}	K_{Eb}	K_C
150	1,2882	1,1136	1,2697	1,8215
151	1,3074	0,8664	0,8945	1,0131
362	1,2895	1,1076	1,1896	1,6990
363	1,2278	1,2970	1,5242	2,4273
380	1,3002	0,9206	0,9350	1,1192



Obr. 35 – porovnávací koeficienty pro vlak EC 110 (1. TK, CT-Z)

5.4.2 Interpretace porovnávacích koeficientů

Z důvodu lepší možnosti vysvětlení významu jednotlivých výsledků výpočtu koeficientů jsou zde uvedeny ještě porovnávací koeficienty pro vlak EC 110 ve směru Zábřeh na Moravě – Česká Třebová (Tab. 12) a porovnávací koeficienty pro vlak Nu v obou směrech (Tab. 13 a Tab. 14).

Tab. 12 – porovnávací koef. pro vlak EC 110 (2. TK, Z-CT)

Řada HV	K_{JD}	K_{Etr}	K_{Eb}	K_C
150	1,2502	0,9171	1,0923	1,2524
151	1,2659	0,8493	0,9186	0,9876
362	1,2433	0,9884	1,2400	1,5238
363	1,1901	1,1016	1,4655	1,9213
380	1,2704	0,8318	0,7213	0,7622

Tab. 13 – porovnávací koef. pro vlak Nu (1. TK, CT-Z)

Řada HV	K_{JD}	K_{Etr}	K_{Eb}	K_C
363	1,1036	1,3092	1,5834	2,2876
380	1,0932	1,4410	1,7239	2,7156

Tab. 14 – porovnávací koef. pro vlak Nu (2. TK, Z-CT)

Řada HV	K_{JD}	K_{Etr}	K_{Eb}	K_C
363	1,0362	1,0777	1,3060	1,4584
380	1,0489	1,1109	1,6536	1,9269

Tabulky s porovnávacími koeficienty pro ostatní vlaky jsou uvedeny v příloze.

Význam koeficientu K_{JD} zohledňujícím jízdní doby prakticky odpovídá tomu, jak se u kterého vlaku podařilo snížit jízdní dobu. U všech vlaků je hodnota tohoto koeficientu větší než jedna, což znamená, že ve všech případech došlo ke snížení jízdní doby. Čím je hodnota koeficientu vyšší než jedna, tím většího snížení jízdní doby bylo dosaženo. Důvody, proč a jak k těmto snížení jízdních dob došlo, již byly vysvětleny v kapitole 5.1.

U koeficientu spotřeby trakční energie je situace složitější. U osobních vlaků vidíme, že u některých lokomotiv je koeficient menší než 1. Tzn., že v těchto případech došlo k navýšení spotřeby trakční energie. Největší úspory trakční energie dosahuje lokomotiva řady 363. Jelikož hodnoty spotřeby trakční energie se pro různé lokomotivy na staré trati příliš neliší a naopak na nové trati jsou rozdíly mezi lokomotivami větší, odpovídá koeficient K_{Etr} nejen tomu, která lokomotiva umožnila největší snížení spotřeby v porovnání staré a nové trati, ale také tomu, která lokomotiva je z hlediska spotřeby trakční energie nejvhodnější pro jízdu na nové trati.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -50-
---	---------------------------------	-------------

V případě nákladních vlaků je koeficient spotřeby trakční energie vždy větší než jedna. Trakční energie je tedy u nákladních vlaků vždy uspořena. Podle toho, že u lokomotivy řady 380 je koeficient K_{Etr} větší než u řady 363 můžeme říct, že řada 380 v porovnání staré a nové trati uspoří více energie. Ovšem vzhledem k rozdílným výkonovým možnostem, které se u nákladního vlaku více projevují nelze podle koeficientu tvrdit, že řada 380 je energeticky úspornější. Z kapitoly 5.2, konkrétně při porovnání grafů na Obr. 26 a Obr. 27, vidíme, že spotřeba lokomotivy řady 380 je vždy vyšší.

Největších rozdílů pro jednotlivá hnací vozidla je dosaženo u koeficientu spotřeby brzdné energie. Díky rozdílnějším hodnotám je zde dobře možné ukázat odlišnosti u jednotlivých lokomotiv, hlavně co se týká jejich maximální rychlosti a výkonu. Navíc např. u vlaku EC 110 ve směru Zábřeh na Moravě – Česká Třebová je spotřeba brzdné energie na staré trati pro všechny lokomotivy téměř stejná (viz Obr. 30). Hodnoty v Tabulce 11 dokazují, že největšího snížení spotřeby brzdné energie dosáhne lokomotiva řady 363. Lokomotivy řady 150 a 362 mají sice stejnou maximální rychlost, ale hodnoty jejich koeficientů se liší. U řady 362 bylo dosaženo většího snížení spotřeby brzdné energie. Je to dáno tím, že lokomotiva řady 150 se díky většímu výkonu na krátkém rychlém úseku za stanicí Zábřeh na Moravě rozjede na vyšší rychlost a z té pak zanedlouho brzdí. Podobný případ nastává i u lokomotiv řad 151 a 380 a již byl popsán v kapitole 5.3.2. I z hodnot koeficientu v Tab. 12 je vidět, že u těchto dvou lokomotiv dojde ke zvýšení spotřeby brzdné energie a toto zvýšení je větší u řady 380.

Lokomotiva řady 380 je schopna snížit spotřebu brzdné energie u nákladních vlaků, a to více než řada 363. Stejně jako u spotřeby trakční energie to ale neznamená, že by byla lokomotiva řady 380 úspornější. Jak je vidět z grafů na Obr. 33 a Obr. 34 spotřeba brzdné energie na nové trati je pro obě lokomotivy stejná, jen na staré trati byla pro lokomotivu řady 380 větší.

Celkový porovnávací koeficient ukazuje, u které lokomotivy byly nejlépe splněny požadavky napsané v úvodu kapitoly, tedy u které lokomotivy se podařilo co nejvíc snížit jízdní doby a zároveň spotřebu energie. O všech lokomotivách, kde je tento koeficient větší než jedna lze říct, že došlo k celkovému zlepšení na nové trati v porovnání s tratí starou. Menší než jedna je K_C pouze u lokomotiv řad 151 a 380 u vlaků Ex 140 v obou směrech a EC 110 v jednom směru. Tzn., že příznivý efekt snížení jízdních dob je převýšen nepříznivým efektem zvýšení spotřeby energie. Porovnávací koeficienty všech lokomotiv a vlaků jsou uvedeny v Příloze 4 (Str. 84).

V případě vlaků osobní dopravy je vždy největší hodnota koeficientu K_C u lokomotivy řady 363. Můžeme tak podle hodnot K_C tvrdit, že tato lokomotiva je pro provoz na trati Česká Třebová – Zábřeh na Moravě nejvhodnější. U nákladních vlaků je hodnota K_C větší pro lokomotivu řady 380. Této lokomotivě tak rekonstrukce trati teoreticky umožnila větší zlepšení.

5.5 Posouzení vlivu součinitele adheze na jízdní doby a spotřebu energie

V předchozích kapitolách bylo u všech hnacích vozidel uvažováno maximální využití adheze. Jaký vliv na jízdní doby a spotřebu energie mají zhoršené adhezní podmínky, je možné ukázat např. na vlaku R 470 s lokomotivou řady 150 ve směru Zábřeh na Moravě – Česká Třebová. U tohoto vlaku je změnu adhezních podmínek možné nejlépe sledovat, protože se jedná o nejtěžší osobní vlak.

Maximální součinitel adheze při dobrých adhezních podmínkách pro řadu 150 lze stanovit z rovnice (39). (Tažná síla F_0 , kterou je lokomotiva adhezně schopna přenést je stanovena z trakční charakteristiky.)

$$\mu_0 = \frac{F_0}{M_{150} \cdot g} = \frac{230}{82,5 \cdot 10} = 0,28 \quad (39)$$

Nižší hodnoty meze adheze jsem zvolil tak, jak je to uvedeno v Tab. 15. Jednotlivým mezím adheze odpovídá i různé označení lokomotivy.

Tab. 15 – meze adheze a odpovídající označení lokomotivy

Řada HV	μ_0
150	0,28
150_1	0,24
150_2	0,20
150_3	0,16
150_4	0,12

Dosažením meze adheze do rovnice (39) lze zpětně vypočítat tažnou sílu na obvodu kol při nulové rychlosti. Jak je vidět z trakční charakteristiky lokomotivy řady 150 uvedené na Obr. 7 skutečná tažná síla je nižší než vychází při výpočtu ze součinitele adheze. Lokomotiva řady 150 má totiž mezní tažnou sílu omezenou z důvodu stupňovité regulace výkonu. Tažná síla při nulové rychlosti je tedy asi o 30 kN nižší, než je síla, kterou je schopna tato lokomotiva adhezně přenést. Křivka trakční charakteristiky je posunutá níž, než je adhezní omezení.

Výpočet s nižším součinitelem adheze prakticky znamená snížení tažné síly lokomotivy. Trakční charakteristiky lokomotivy řady 150 pro nižší součinitele adheze jsou vypočteny následovně. Nejprve bylo nutné stanovit rovnici pro výpočet součinitele adheze odpovídající adheznímu omezení uvedenému v trakční charakteristice lokomotivy. Tato rovnice je upravenou formou vztahu pro výpočet součinitele adheze podle Curtiuse-Knifflera (zdroj: Literatura [17]) uvedeného ve vztahu (40).

$$\mu = \frac{7,5}{v+44} + 0,161 \quad (40)$$

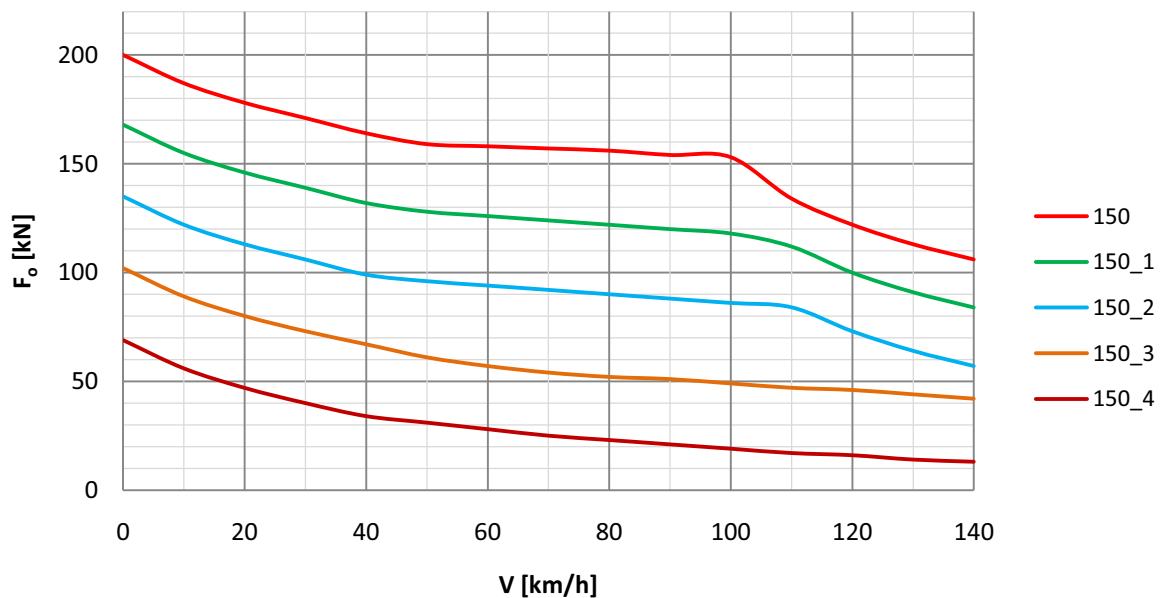
Výpočet součinitele adheze pro lokomotivu řady 150 ve tvaru odpovídajícím adheznímu omezení v trakční charakteristice je uveden v rovnici (41).

$$\mu = \frac{7}{v+55} + 0,153 \quad (41)$$

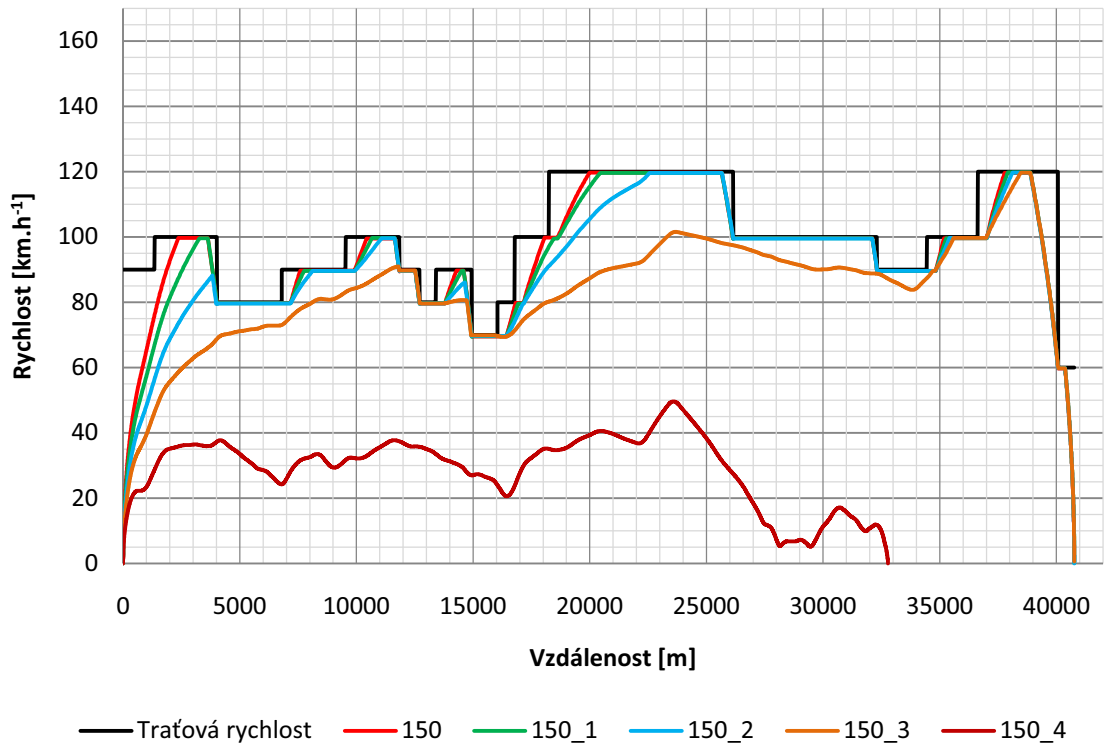
Dosazením tohoto součinitele adheze do rovnice (39) lze vypočítat maximální tažnou sílu, kterou je lokomotiva při určité rychlosti V schopna přenést, přičemž pro snížené meze adheze je odpovídajícím způsobem snížen druhý sčítanec v rovnici (41). Tedy např. pro $\mu_0 = 0,24$ je druhý sčítanec v rovnici (41) roven 0,113, pro $\mu_0 = 0,20$ je druhý sčítanec roven 0,073 atd. Při stanovení skutečné tažné síly je odpovídajícím způsobem snížena mezní tažná síla, tak aby byl zohledněn vliv stupňovité regulace výkonu. Vytvořené trakční charakteristiky lokomotivy řady 150 pro různé součinitele adheze jsou zobrazeny v grafu na Obr. 36.

Tachogram jízdy vlaku R 470 s lokomotivou řady 150 při různých adhezních podmínkách na staré trati je uveden na Obr. 37, pro jízdu na nové trati je uveden na Obr. 38.

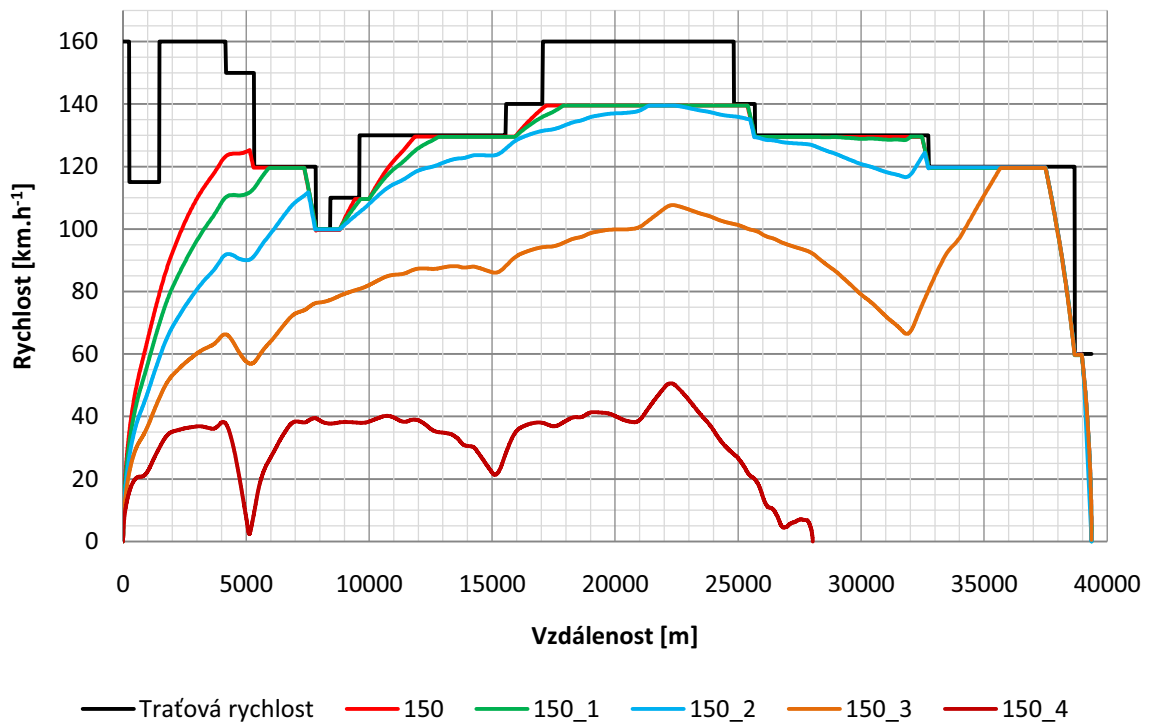
Naměřené hodnoty jízdních dob a spotřeby trakční i brzdné energie pro tento vlak, resp. jejich porovnání mezi starou a novou tratí ukazuje Tab. 16. Procentuelní snížení jízdních dob je uvedeno na Obr. 39 a Obr. 40 a Obr. 41. V těchto grafech není zobrazeno snížení pro jízdu při nejhorších adhezních podmínkách, neboť vlak neprojde celou trasu, což je vidět i z tachogramů na Obr. 37 a Obr. 38, a tak naměřené hodnoty nelze objektivně porovnávat.



Obr. 36 – trakční charakteristiky lokomotivy řady 150 pro různé meze adheze



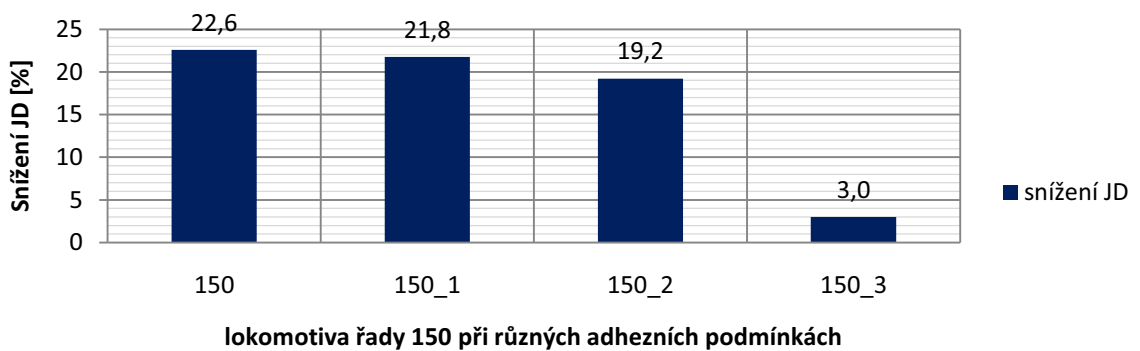
Obr. 37 – tachogram jízdy lokomotivy řady 150 s vlakem R 470 po staré trati (2. TK, Z-CT)



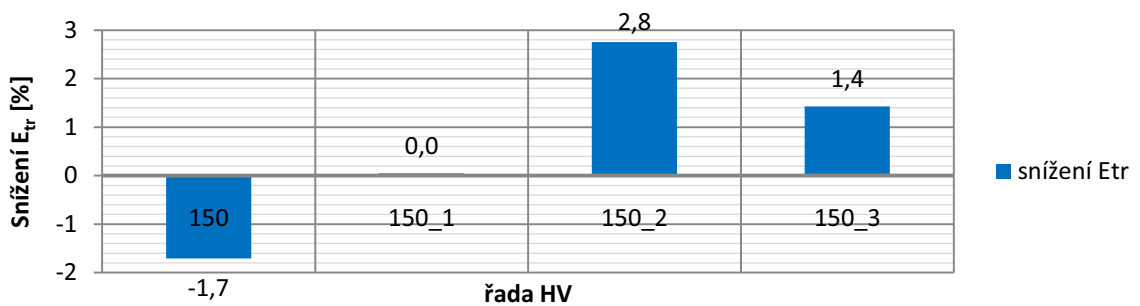
Obr. 38 – tachogram jízdy lokomotivy řady 150 s vlakem R 470 po nové trati (2. TK, Z-CT)

Tab. 16 – hodnoty JD a spotřeby energie pro vlak R 470 a různé meze. adheze (2. TK, Z-CT)

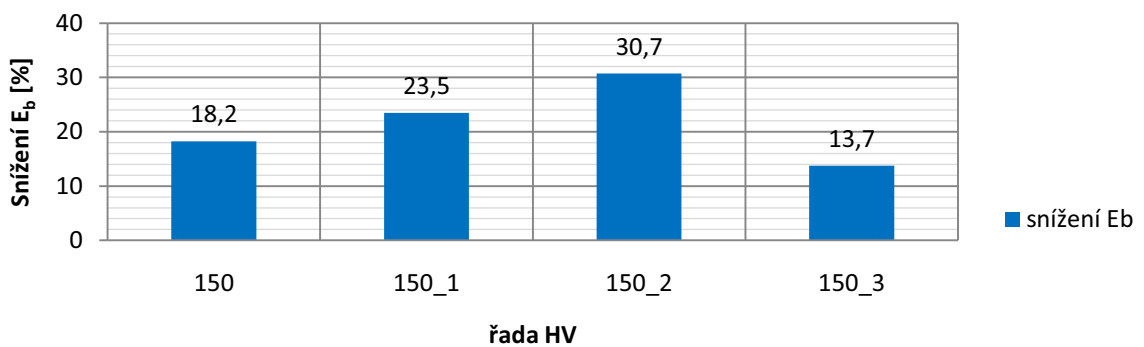
Řada HV	Jízdní doby		Spotřeba trakční energie		Spotřeba brzdné energie	
	Stará trať [min]	Nová trať [min]	Stará trať [kW.h]	Nová trať [kW.h]	Stará trať [kW.h]	Nová trať [kW.h]
150	27.56	21.33	685.029	696.710	267.282	218.525
150_1	28.03	21.93	682.364	682.024	267.700	204.836
150_2	28.93	23.38	655.844	637.784	243.420	168.709
150_3	31.86	30.90	526.935	519.422	142.732	123.139
150_4	89.94	72.27	377.410	307.038	0	0



Obr. 39 – procentuelní snížení JD pro vlak R 470 a různé meze adheze (2. TK, Z-CT)



Obr. 40 – procentuelní snížení E_{tr} pro vlak R 470 a různé meze adheze (2. TK, Z-CT)



Obr. 41 – procentuelní snížení E_b pro vlak R 470 a různé meze. adheze (2. TK, Z-CT)

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -55-
---	---------------------------------	-------------

Nejprve může být posouzen vliv různých adhezních podmínek na jízdní doby. Pokud jsou adhezní podmínky horší, vždy dochází k prodlužování jízdních dob, přičemž platí, že čím nižší je součinitel adheze, tím delší jsou jízdní doby. Při porovnání staré a nové trati je z Tab. 16 vidět, že k největšímu zkrácení jízdních dob došlo v případě nejlepších adhezních podmínek. Např. pro lokomotivu 150_3 ($\mu_0 = 0,16$) už je rozdíl jízdních dob přibližně sedmkrát menší než za dobrých adhezních podmínek. Vlak při nízké adhezi nedosáhne vysoké rychlosti a vliv traťové rychlosti se tak příliš neprojevuje.

Při nízké adhezi je mnohem lépe pozorovatelný vliv sklonu trati, resp. náhradního sklonu. Z tachogramů je dobře patrný pokles rychlosti na nové trati v okolí pátého kilometru trati, kde se nachází přeložka zkracující trať a je zde tedy větší sklon než na staré trati. Dále je dobře patrný vrchol trati, při následné jízdě do klesání už jsou všechny vlaky schopné s větším, či menším zrychlením rozjezdu na maximální dovolenou rychlost.

U spotřeby trakční energie je za normálních adhezních podmínek vyšší spotřeba na nové trati. Při zhoršených adhezních podmínkách dochází ke snížení vlivu průběhu traťové rychlosti především na nové trati, jelikož vlak jede nižší rychlostí a nedodrží rychlostní profil. Čím horší jsou adhezní podmínky, k tím většímu snížení spotřeby trakční energie dochází. Tato nižší spotřeba závisí na omezení tažné síly z důvodu zhoršených adhezních podmínek.

Spotřeba brzděné energie se při horších adhezních podmínkách rovněž snižuje, právě proto, že vlak nedosahuje maximální rychlosti a při brzdění je rozdíl rychlostí menší. V případě lokomotivy 150_3 ($\mu_0 = 0,16$) na nové trati se brzdění koná pouze do zastavení v cílové stanici.

Zhoršené adhezní podmínky jsou jev nežádoucí hlavně z důvodu prodlužování jízdních dob, jelikož GVD je sestavován pro normální adhezní podmínky. Horší adhezní podmínky jsou respektovány přičtením určité rezervy k celkové jízdní době. Na nové trati je jízdní doba posuzovaného vlaku 24 min. Tzn., že tento čas přibližně odpovídá jízdě při součiniteli adheze $\mu_0 = 0,2$. Pokud jsou adhezní podmínky horší, už dochází k prodlužování jízdních dob přes určitou mez a vytváření zpoždění. Proti skutečnosti nejsou výpočty za zhoršených adhezních podmínek příliš přesné, jelikož zde není zahrnuta možnost pískování a tím částečného zvýšení součinitele adheze, a dále zde nejsou zahrnuty např. jiné adhezní podmínky v tunelech.

O vlivu nerovnoměrnosti průběhu traťové rychlosti na jízdní doby a spotřebu energie při různých adhezních podmínkách lze říct, že je menší v případě horších adhezních podmínek. Naopak zvětšující se vliv má sklon trati.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -56-
---	---------------------------------	-------------

6. Zhodnocení výsledků

V předchozích kapitolách byl jednotlivě analyzován vliv nerovnoměrnosti traťové rychlosti, resp. také vliv změny rychlostního profilu, na jízdní doby a spotřebu energie pro různá hnací vozidla s různými soupravami vlaků osobních i nákladních. Celkové posouzení vlivu nerovnoměrnosti průběhu traťové rychlosti na jízdní doby a spotřebu trakční a brzděné energie bude zhodnoceno v této části.

Z hlediska dosažených, resp. v praxi požadovaných, výsledků je lepší posuzovat zvlášť vlaky osobní dopravy a zvlášť vlaky nákladní dopravy. Věnujme se tedy nejprve osobní dopravě.

V osobní dopravě je rozhodujícím požadavkem co nejkratší jízdní doba. Dosažení krátké jízdní doby by měla umožnit právě rekonstrukce trati a také vhodná hnací vozidla. Při rekonstrukci posuzované trati Česká Třebová – Zábřeh na Moravě došlo ke zkrácení délky trati díky vybudování nových přeložek. Traťová rychlost byla zvýšena ze $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ na $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Složitě terénní podmínky, ale neumožnily zvýšení rychlosti na $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ v celé trase. Rychlostní profil nové trati je opět nerovnoměrný, podobně jako na staré trati, s tím rozdílem, že na nové trati je všech místech rychlost vyšší. Porovnání rychlostních profilů je vidět např. na Obr. 3 a Obr. 5 pro 1. TK. Bohužel k vybudování přeložek v některých místech z úsporných důvodů nedošlo – přeložka okolo žst. Hoštejn nebyla realizována, trať tedy vede ve stávající stopě a umožňuje jízdu rychlostí pouze $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, resp. $110 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ pro vlaky s dovoleným nedostatkem převýšení 130 mm. Dalším problémovým místem je poslední oblouk před koncem trati u žst. Zábřeh na Moravě, kde je také nižší rychlost. Mezilehlý úsek s rychlostí $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ je tak příliš krátký. Z tachogramů na Obr. 21, Obr. 32, nebo Obr. 38 je vidět, že většina vlaků zde maximální rychlosti ani nedosáhne (zejména při jízdě do stoupání).

Nerovnoměrný rychlostní profil se nejvíce nepříznivě projevuje na spotřebě energie. Tedy přesněji nepříznivě se projevuje u vlaků, které dosahují maximální traťové rychlosti a víceméně kopírují rychlostní profil trati. U pomalejších vlaků je spotřeba trakční i brzděné energie na nové trati nižší. To se týká především lokomotivy řady 363, jejíž maximální rychlost je $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a tuto rychlost je možné udržovat prakticky po celé délce nové trati. Vlaky jedoucí rychlostí $140 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ dosáhnou úspory energie v porovnání staré a nové trati pouze ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě. V opačném směru dojde ke zvýšení spotřeby, neboť větší část trati je do stoupání a trakční energie se spotřebovává na rozjezd mnohem více. V případě nejrychleji jedoucích vlaků (vlaky EC 110 a Ex 140 s lokomotivami řad 151 a 380) je spotřeba trakční i brzděné energie vždy vyšší na nové trati.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -57-
---	---------------------------------	-------------

Rekonstrukce trati umožňuje vlakům osobní dopavy snížit jízdní doby až okolo 30% (např. z 28,6 min na 19,8 min pro vlak EC 110 s lokomotivou řady 151). Toto snížení jízdních dob je ale vyváženo vyšší spotřebou trakční i brzdné energie. Z porovnávacích koeficientů je vidět, že zvýšení spotřeby energie svým nepříznivým vlivem převyšuje příznivý vliv snížení jízdních dob (viz Obr. 92).

Nerovnoměrný rychlostní profil má tedy nepříznivý vliv na jízdní doby i spotřebu trakční a brzdné energie. Zrovnoměrněním rychlostního profilu je možné snížit spotřebu brzdné energie. V případě jízdních dob a spotřeby trakční energie záleží, jak vysoká by byla případná stálá traťová rychlost. Pokud bychom teoreticky uvažovali traťovou rychlost $160 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ v celé délce trati, bylo např. u řady 151 s vlakem EC 110 dosaženo zkrácení jízdní doby o další dvě minuty. Naopak spotřeba trakční energie by byla vyšší na nové trati ve směru jízdy ze Zábřehu, a to dokonce vyšší i v porovnání s novou tratí v současném stavu.

Z výše uvedených poznatků vyplývá, že pokud má být splněn požadavek na co nejkratší jízdní doby je vyšší spotřeba trakční energie nevyhnutelná. Přesněji zvýšení spotřeby trakční energie je nevyhnutelné, ale toto zvýšení nemusí být tak vysoké v případě, že je rychlostní profil rovnoměrný a umožňuje jet vlaku maximální rychlostní po delší dráze, tedy nedochází k častým brzděním a opětovným rozjezdům. Rovnoměrným rychlostním profilem lze uspořit především spotřebu brzdné energie. Pokud terénní podmínky neumožňují postavit trať s rovnoměrným rychlostním profilem, tak jak je tomu i u trati Česká Třebová – Zábřeh na Moravě, je výhodnější postavit trať s nižší traťovou rychlostí, resp. je zbytečné budovat krátké úseky dovolující jízdy vyšší rychlostí, když většina vlaků není schopna této rychlosti na tak krátké vzdálenosti dosáhnout – i úspora jízdní doby je minimální. I z těchto důvodů vychází podle porovnávacího koeficientu pro provoz na současné podobě trati nejvýhodněji lokomotiva řady 363 – je nejlépe schopna splnit požadavek na co největší snížení jízdní doby a zároveň co největší snížení spotřeby trakční i brzdné energie.

V případě nákladní dopravy je situace trochu jiná. Cílem dopravce jakožto výdělečně-činného subjektu je samozřejmě uspokojit potřeby přepravce – tedy pokud možno krátké dodací lhůty. S tím souvisí i zkrácení jízdních dob nákladních vlaků. Cílem dopravce je ale také maximalizovat zisk a s tím souvisí požadavek na úsporu energie. Tento požadavek má vyšší význam než zkrácení jízdních dob, hlavně z důvodu omezené maximální rychlosti nákladních vlaků. Většina vlaků má maximální rychlost $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, výjimečně až $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Navíc vzhledem k vysokým hmotnostem i délkám nákladních vlaků se každé snížení traťové rychlosti projevuje velmi nepříznivě.

Z analýzy vlivu rekonstrukce trati, resp. změny rychlostního profilu, vyplývá, že u nákladních vlaků je situace na nové trati lepší. Pro obě posuzovaná hnací vozidla i soupravy došlo ke snížení jízdních dob i ke snížení spotřeby trakční a brzdné energie. Díky rekonstrukci je oběma soupravám nákladního vlaku dovoleno jet jejich maximální rychlostí $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, resp. $120 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ skoro po celé délce trati. Největšího zlepšení je dosaženo při spotřebě brzdné energie (ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě až o 60%).

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -58-
---	---------------------------------	-------------

Z hlediska požadavků nákladní dopravy lze o trati Česká Třebová – Zábřeh na Moravě říct, že její současný stav je postačující – umožňuje plynulou jízdu v celé trase, což znamená i vyšší propustnost trati. Jediným omezujícím faktorem je při jízdě ze Zábřehu na Moravě nedostatečný výkon lokomotivy řady 363. Tato lokomotiva není ve stoupání, které dosahuje až 10‰ schopna udržovat maximální dovolenou rychlost vlaku, čímž dochází k prodlužování jízdnicích dob. Nedostatečný výkon lokomotivy lze v případě těžkých nákladních vlaků řešit přidáním postrkové, nebo příprežní lokomotivy. Toto řešení je však méně ekonomické – vyšší spotřeba energie, plat dalšího strojvedoucího, nevyužití Lv jízdy v opačném směru. Výhodnějším řešením je použití dostatečně výkonné lokomotivy. Zde posuzovaná lokomotiva řady 380 má sice proti řadě 363 vyšší spotřebu, ale umožňuje jízdu stálou rychlostí i do vyšších sklonů.

Možností jak eliminovat vliv nerovnoměrnosti průběhu traťové rychlosti na jízdní doby je využití souprav s naklápečí skříní – řady 680. Výpočet pro tuto jednotku jsem provedl, ale výsledky jsem do porovnání s ostatními vlaky nezařadil vzhledem k tomu, že u ostatních souprav vlaků jsou výpočty provedeny v kombinacích s různými lokomotivami a nelze jednoznačně stanovit, se kterou soupravou vlaku by mohla být jednotka porovnávána. Dalším důvodem je praktické využití jednotek na této trati – jednak malý počet vlaků vedených touto jednotkou v daném úseku trati (7 párů vlaků za den) a také fakt, že všechny vlaky vedené touto jednotkou projíždí obě koncové stanice daného úseku.

Pokud bychom uvažovali vlak vedený řadou 680 s rozjezdem v České Třebové a zastavením v Zábřehu na Moravě, tak v tomto směru je jízdní doba srovnatelná s vlakem Ex 140. Na nové trati je díky možnosti naklápečí snížena jízdní doba o 35% (na 18 min). V opačném směru je jízdní doba na staré trati rovněž srovnatelná s vlakem Ex 140, na nové trati je to opět 18 min.

V případě spotřeby trakční energie došlo v obou směrech ke zvýšení této spotřeby přibližně o 14%, přičemž hodnoty spotřeby trakční energie jsou na nové trati porovnatelné s řadou 380 vezoucí vlak EC 110. Konkrétně spotřeba řady 680 je ve směru z České Třebové o 17 kW·h vyšší než u řady 380 s vlakem EC 110. V opačném směru je spotřeba vyšší o 27 kW·h.

Spotřeba brzděné energie je ve směru Česká Třebová – Zábřeh na Moravě přibližně stejná na staré i na nové trati (216 kW·h). V opačném směru je na nové trati vyšší (198,5 kW·h) než na staré trati (180 kW·h).

Elektrická jednotka řady 680 tedy umožňuje průjezd trati rychleji než vlaky s klasickými soupravami. Proti nejrychlejšímu vlaku (Ex 140 s lokomotivou řady 380) je rychlejší zhruba o 1 minutu. Spotřebou trakční i brzděné energie však tento vlak převyšuje – je srovnatelná spíše s vlakem EC 110 vedeným lokomotivami řad 151, nebo 380, přičemž spotřeba trakční energie je u řady 680 vyšší a naopak spotřeba brzděné energie o něco nižší, což je dáno právě tím, že jednotka řady 680 nesnižuje rychlost tolik, jako klasická souprava.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -59-
---	---------------------------------	-------------

K problematice vozidel s naklápěcí skříní, v tomto případě reprezentovaných elektrickou jednotkou řady 680, lze závěrem říct, že umožní zrychlení dopravy proti klasickým soupravám. Zejména pak na tratích, jakou je posuzovaný úsek Česká Třebová – Zábřeh na Moravě, kde z důvodu nepříznivých terénních podmínek není možné postavit delší úseky s vyšší rychlostí. Nevýhodou této jednotky je pak relativně vysoká spotřeba energie v porovnání s klasickými soupravami, především při přepočtu na jednoho cestujícího – jednotka řady 680 má nižší obsaditelnost.

Při porovnání jednotky řady 680 s vlakem EC 110 pomocí porovnávacího koeficientu je tento koeficient pro řadu 680 skoro stejný (liší se v řádech tisícín) jako pro lokomotivu řady 380 se zmíněným vlakem (platí pro směr Česká Třebová – Zábřeh na Moravě). Tzn., že jednotka řady 680 je z hlediska snížení jízdních dob a tomu odpovídajícímu zvýšení energie stejně vhodná jako souprava vlaku EC 110 vedená lokomotivou řady 380. Ve směru Zábřeh na Moravě – Česká Třebová jednotka řady 680 odpovídá celkovým porovnávacím koeficientem vlaku EC 110 vedenému lokomotivou řady 151.

Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	Michal Kuna BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana -60-
---	---------------------------------	-------------

7. Závěr

V bakalářské práci byl posuzován vliv nerovnoměrnosti průběhu traťové rychlosti na jízdní doby a spotřebu energie. Posouzení bylo provedeno na trati Česká Třebová – Zábřeh na Moravě, přičemž byl porovnáván stav trati před rekonstrukcí a po rekonstrukci. Porovnání jízdních dob a spotřeby energie bylo ukázáno na několika kategoriích osobních a nákladních vlaků s různými hnacími vozidly, zvolenými tak, aby bylo možné ukázat rozdíly mezi nimi a mohla na nich být ukázána změna rychlostního profilu při rekonstrukci trati.

Porovnání hlavních parametrů zvolených souprav a hnacích vozidel (délka, hmotnost, rychlost, trakční charakteristiky) je popsáno v kapitole 3 – Zpracování údajů o vozidlech. Výpočty pro všechny typy vlaků jsou provedeny pro maximální využití adhezních schopností daných hnacích vozidel. Kapitola 5.5 je pak věnována posouzení vlivu zhoršených adhezních podmínek na jízdní doby a spotřebu energie, což je ukázáno na jedné kategorii vlaku. Zhodnocení jízdních dob a energetické náročnosti je provedeno pomocí porovnávacího koeficientu (Kapitola 5.4) a dále je popsáno v Kapitole 6. – Zhodnocení výsledků.

Závěrem práce lze říct následující. Nerovnoměrnost průběhu traťové rychlosti se projevuje negativně jak na délce jízdních dob, tak na spotřebě energie. Při rekonstrukci trati došlo ke zvýšení rychlosti, což má za následek, že především u pomalejších vlaků (nákladní vlaky a osobní vlaky vedené řadou 363) došlo jak ke snížení jízdních dob, tak ke snížení spotřeby trakční i brzděné energie. Nový rychlostní profil umožňuje využít maximální rychlost těchto vlaků skoro v celé délce trati, takže nedochází k opakovaným rozjezdům a brzděním. V případě rychlejších osobních vlaků (Ex 140 a EC 110 především s lokomotivami řady 151 a 380) využívajících rychlostní profil v celém rozsahu došlo pouze ke snížení jízdní doby. Naopak spotřeba trakční i brzděné energie je v porovnání staré a nové trati stejná, nebo dokonce vyšší.

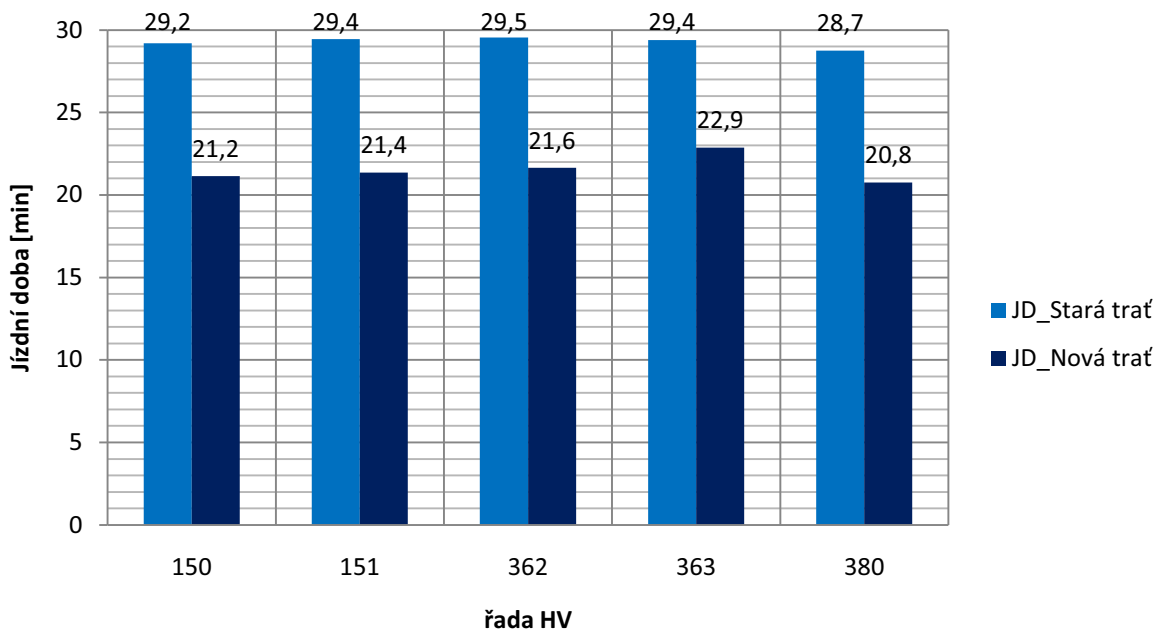
Rekonstrukce trati tedy umožnila snížení jízdních dob pro všechny vlaky a zvýšení propustnosti. Z hlediska spotřeby energie se změna rychlostního profilu příznivě projevuje především v nákladní dopravě. V osobní dopravě je hlavním cílem snížení jízdních dob, což se bohužel při vyšších rychlostech bez zvýšení spotřeby trakční energie neobejde. Optimálním řešením při rekonstrukci trati by měla být snaha postavit trať s rovnoměrným rychlostním profilem, aby zmíněné zvýšení spotřeby trakční energie nebylo tak vysoké. Pokud terénní podmínky neumožňují zvýšení rychlosti na delším úseku, je výhodnější provoz nižší rychlostí, ale stálou – dochází hlavně k úspoře brzděné energie.

8. Literatura

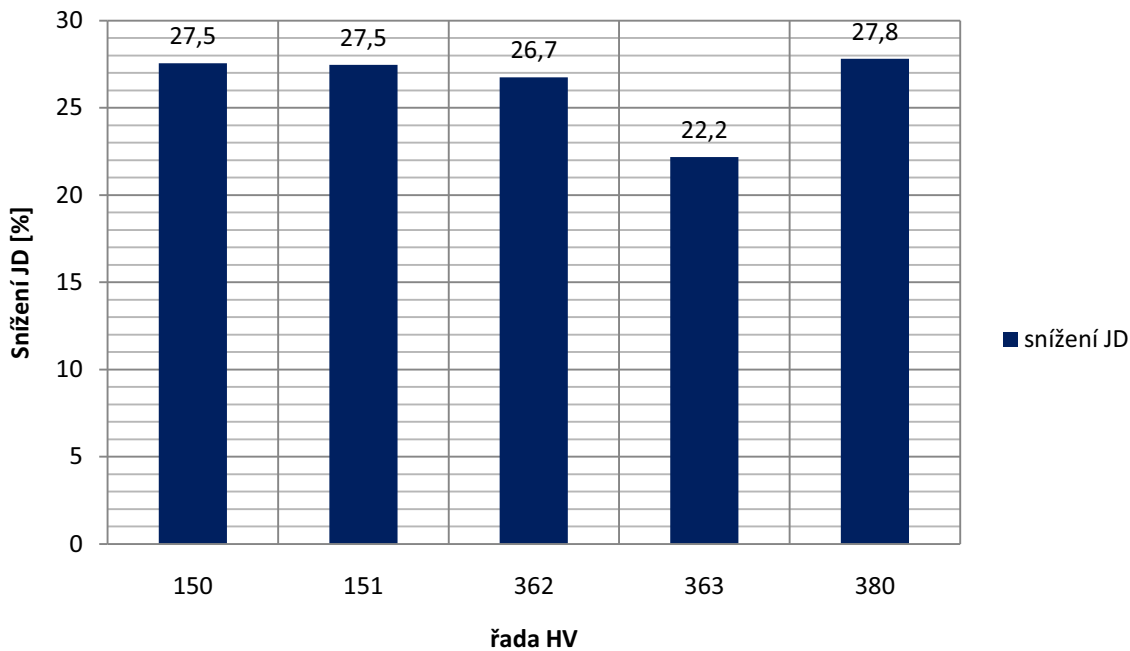
- [1] BITTNER, J; KŘENEK, J; SKÁLA, B; ŠRÁMEK, M: *Malý atlas lokomotiv 2009*, Gradis Bohemia, s.r.o., 2008.
- [2] HERZÁŇ, F; HABARDA, D; MRKVIČKA, J: *Mechanika dopravy koľajových vozidel*, NDS, Praha, 1989.
- [3] KONEČNÝ, J; ŠPALEK, P: *Nová třísystemová lokomotiva řady 380 ČD*. VTS ČD č. 26/2008, [on-line], dostupné na WWW: <http://www.cd rail.cz/VTS/CLANKY/vts26/2601.pdf>
- [4] ŠIMAN, P: *Možnosti úspory trakční elektrické energie a motorové nafty závislé na železniční infrastruktuře*. VTS ČD č. 22/2006, [on-line], dostupné na WWW: <http://www.cd rail.cz/VTS/CLANKY/vts22/2202.pdf>
- [5] ŠIROKÝ, J: *Mechanika v dopravě I. Kolejová vozidla*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2004.
- [6] VÁGNER, J: *Vyšetřování pohybu kolejového vozidla po koleji*, bakalářská práce, Univerzita Pardubice: Pardubice, 2005.
- [7] ŽM – *Atlas vozidel*, 2003 ÷ 2005.
- [8] Atlas lokomotiv, [on-line], dostupné na WWW: <http://www.atlaslokomotiv.net>
- [9] Katalog osobních vozů, ČD SR 52 (V), 2003.
- [10] Katalog osobních vozů. [on-line], dostupné na WWW: <http://www.parostroj.net/katalog/ov/katalog.php3>
- [11] Katalog nákladních vozů. [on-line], dostupné na WWW: <http://www.parostroj.net/katalog/nv/katalog.php3>
- [12] Katalog železničních nákladních vozů ČD Cargo, a.s. [on-line], dostupné na WWW: http://vozy.cd cargo.cz/katalog_vozu.htm
- [13] Nákrešný přehled železničního svršku, SDC Pardubice, SŽDC s.o.
- [14] *Trakční charakteristiky kolejových vozidel*: NDS, 1980.
- [15] *Trakční výpočty*, Předpis ČSD V7, NDS, Praha, 1982.
- [16] TTP pro GVD 1999/2000, 2009/2010, SDC Olomouc, SŽDC s.o.
- [17] Zápisky z předmětu Konstrukce vozidel II (KDPD – PKO2P) – prof. Čáp.
- [18] Zápisky z předmětu Mechanika dopravy (KDPD – PMEDP) – doc. Zelenka.

9. Přílohy

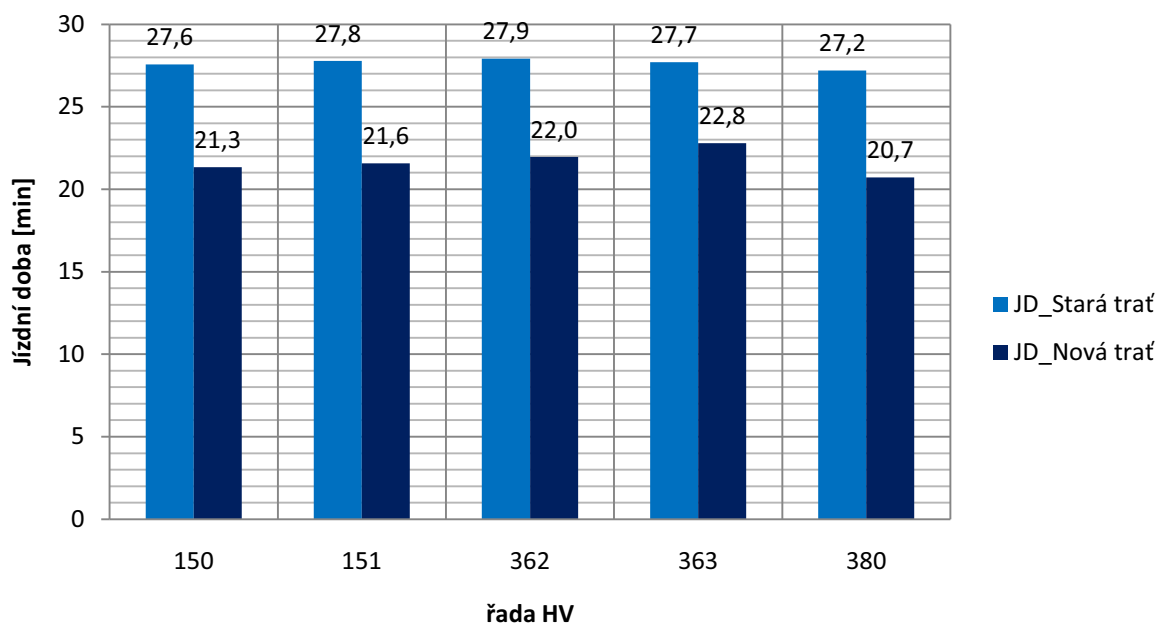
9.1 Jízdní doby



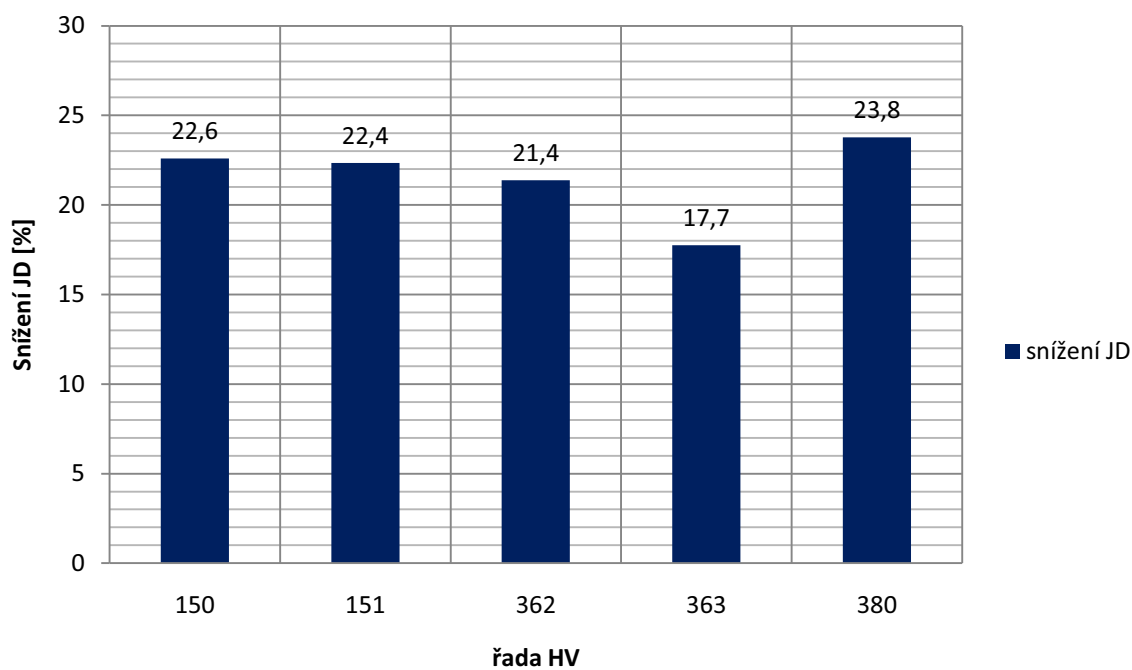
Obr. 42 – porovnání JD pro vlak R 470 a různá HV (1. TK, CT-Z)



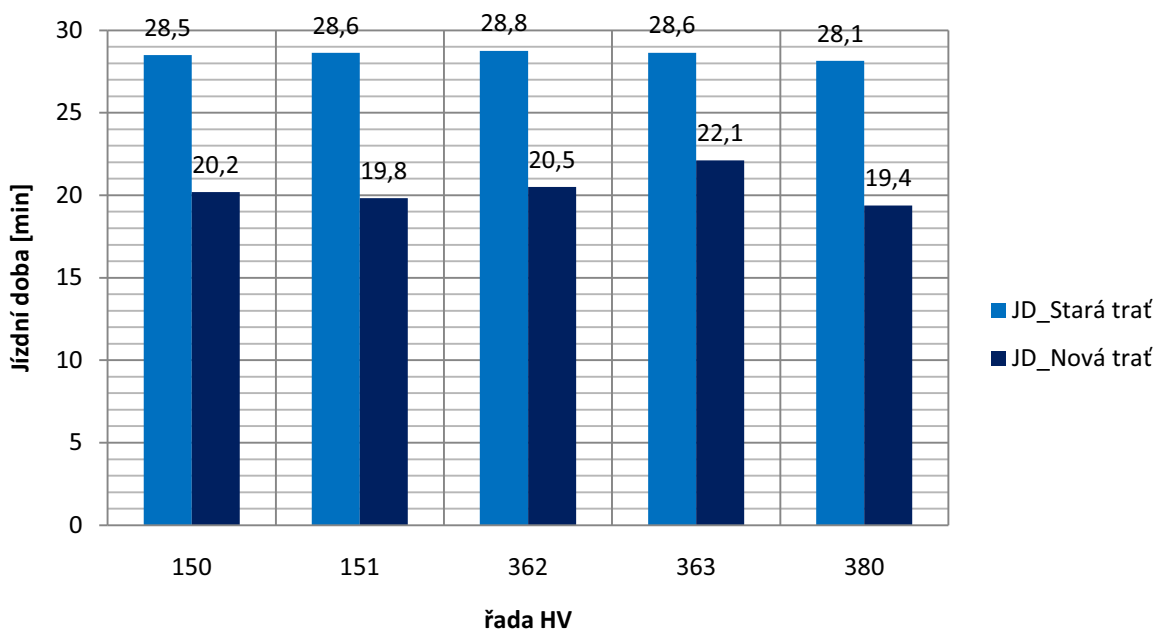
Obr. 43 – procentuelní snížení JD pro vlak R 470 a různá HV (1. TK, CT-Z)



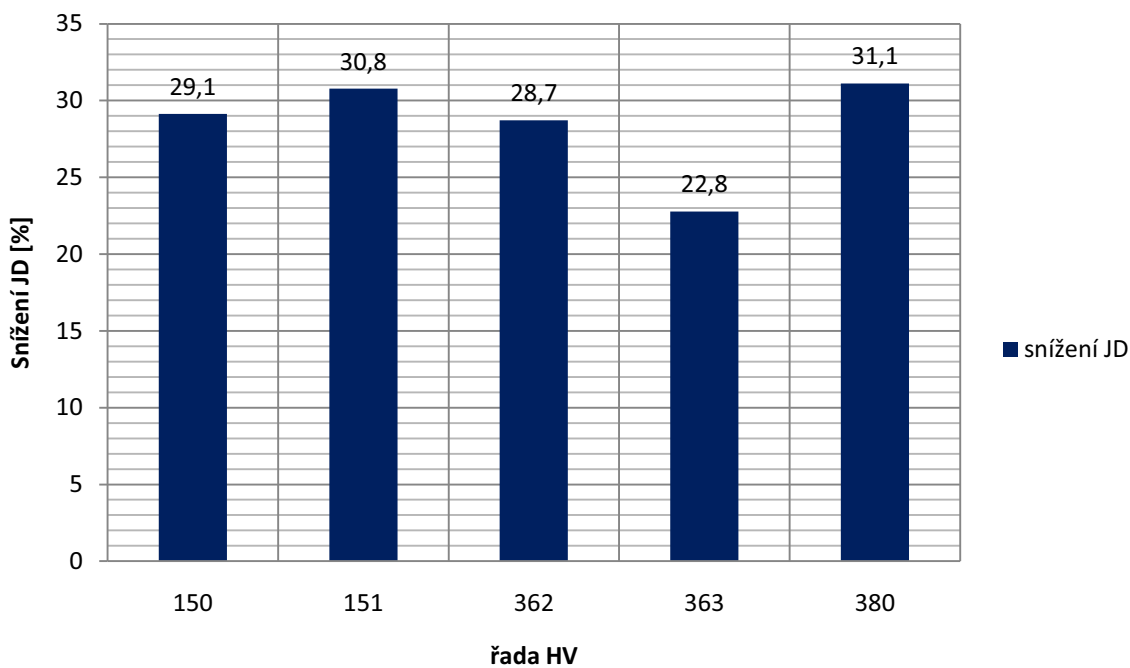
Obr. 44 – porovnání JD pro vlak R 470 a různá HV (2. TK, Z-CT)



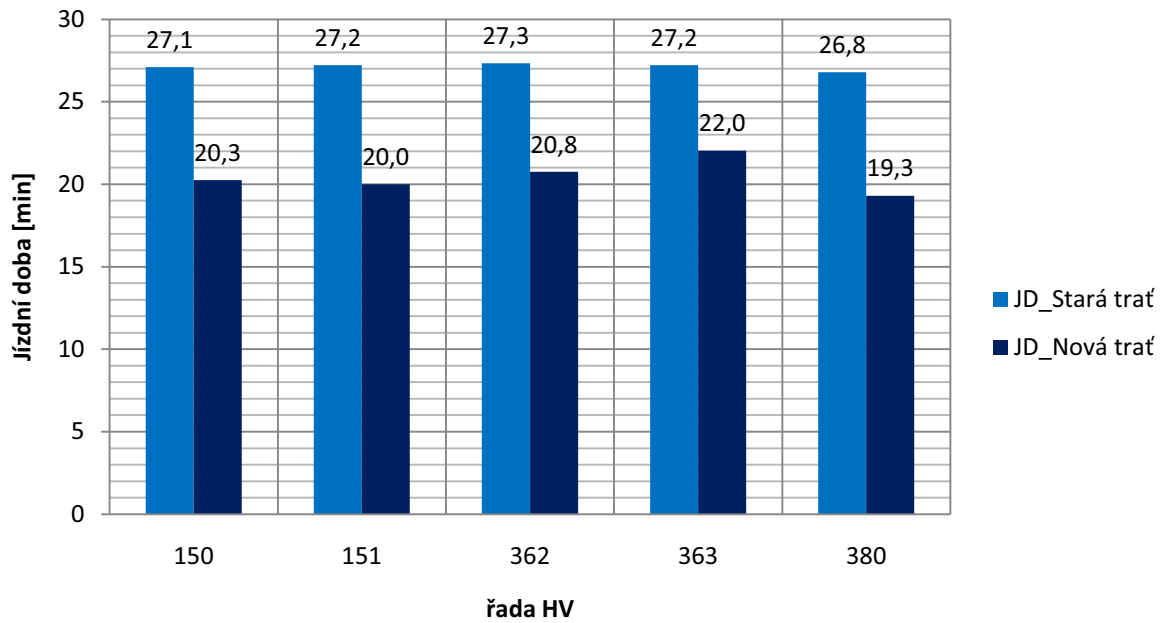
Obr. 45 – procentuelní snížení JD pro vlak R 470 a různá HV (2. TK, Z-CT)



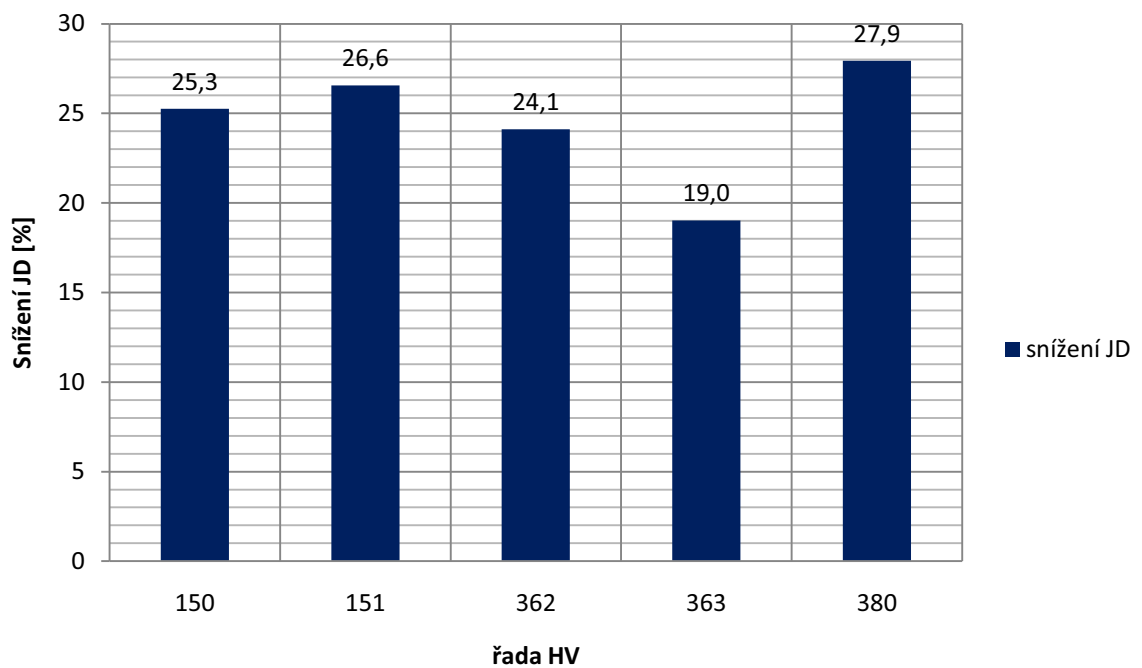
Obr. 46 – porovnání JD pro vlak EC 110 a různá HV (1. TK, CT-Z)



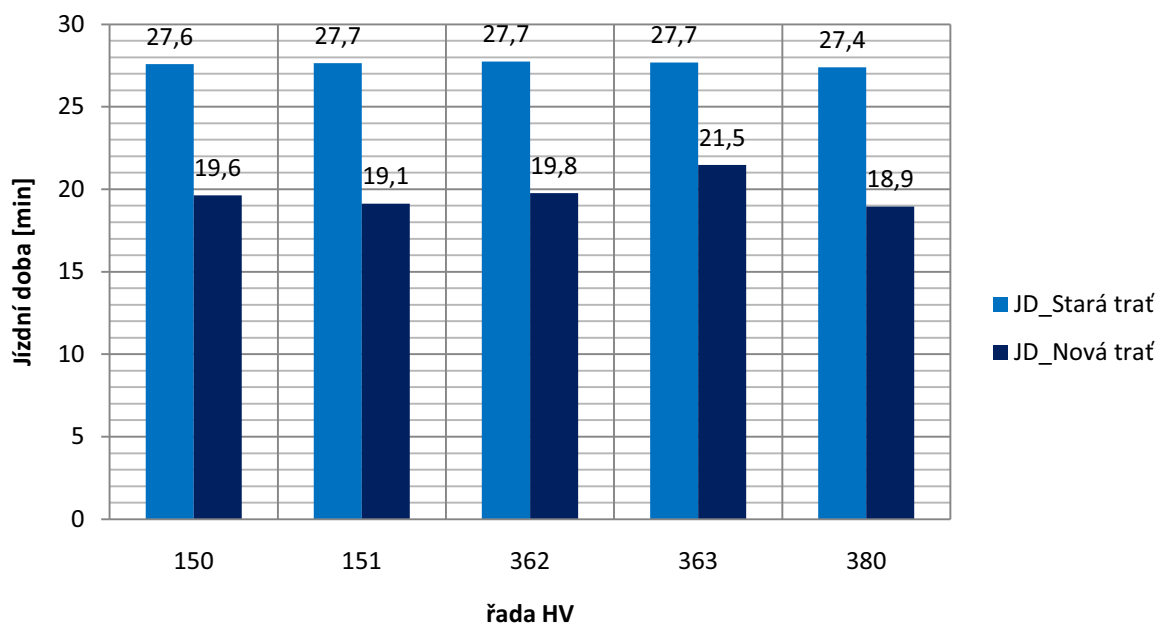
Obr. 47 – procentuelní snížení JD pro vlak EC 110 a různá HV (1. TK, CT-Z)



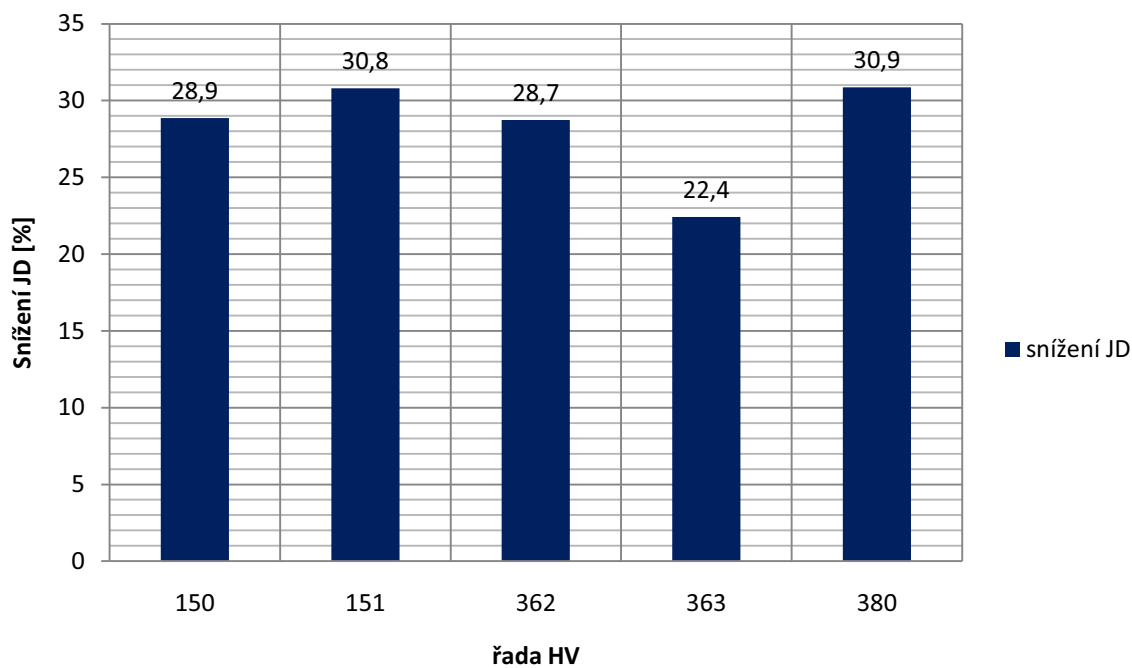
Obr. 48 – porovnání JD pro vlak EC 110 a různá HV (2. TK, Z-CT)



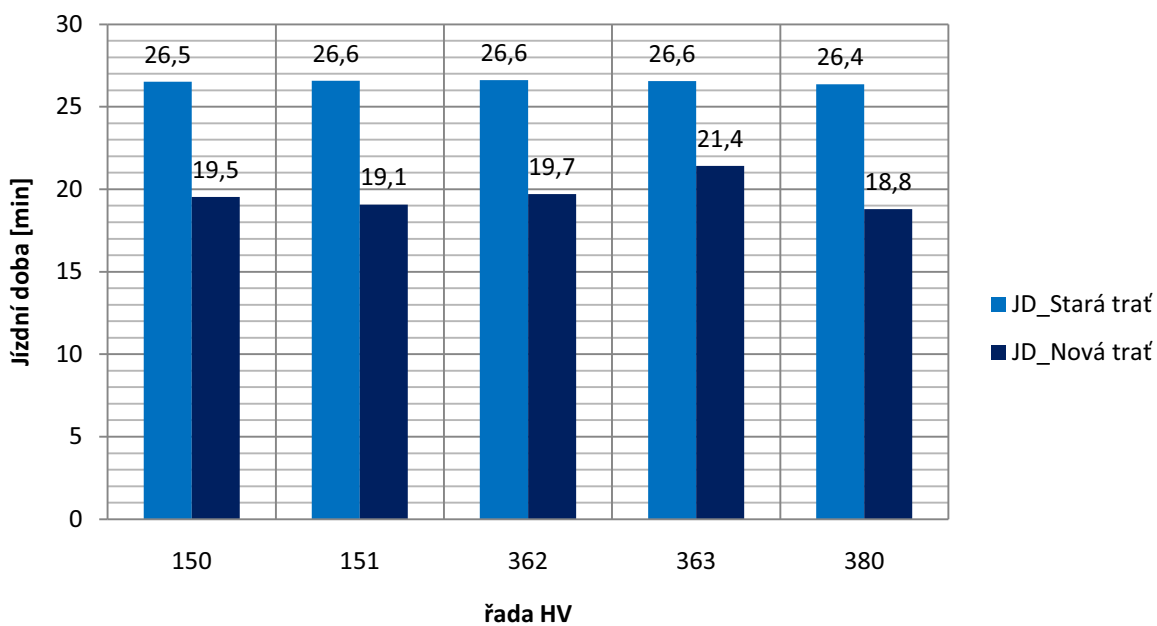
Obr. 49 – procentuelní snížení JD pro vlak EC 110 a různá HV (2. TK, Z-CT)



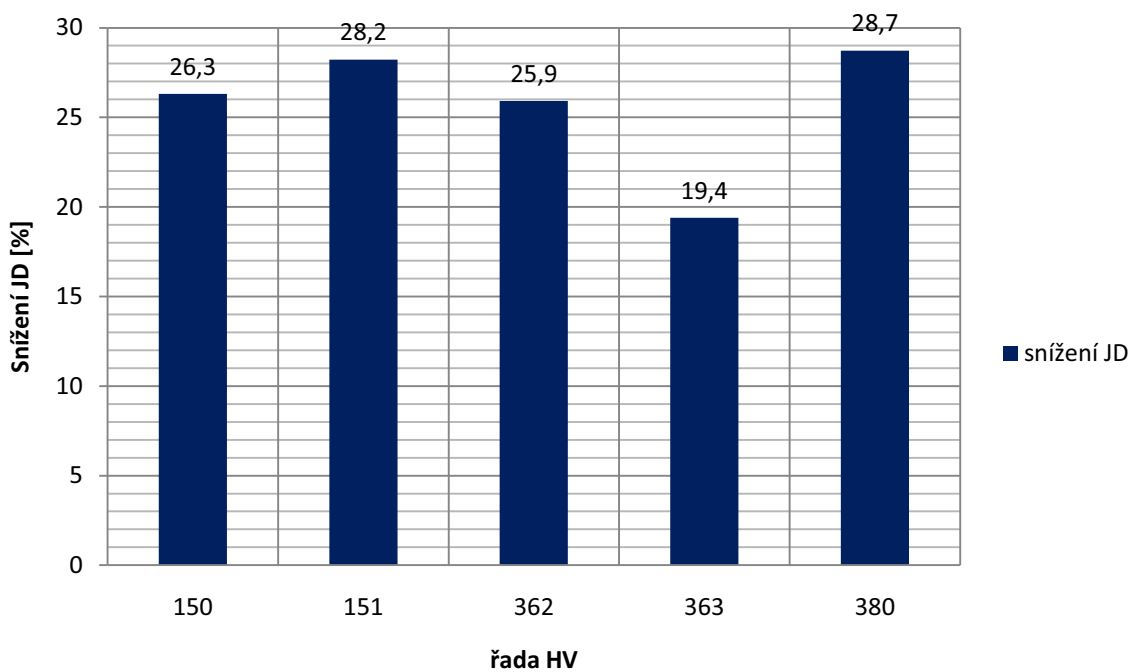
Obr. 50 – porovnání JD pro vlak Ex 140 a různá HV (1. TK, CT-Z)



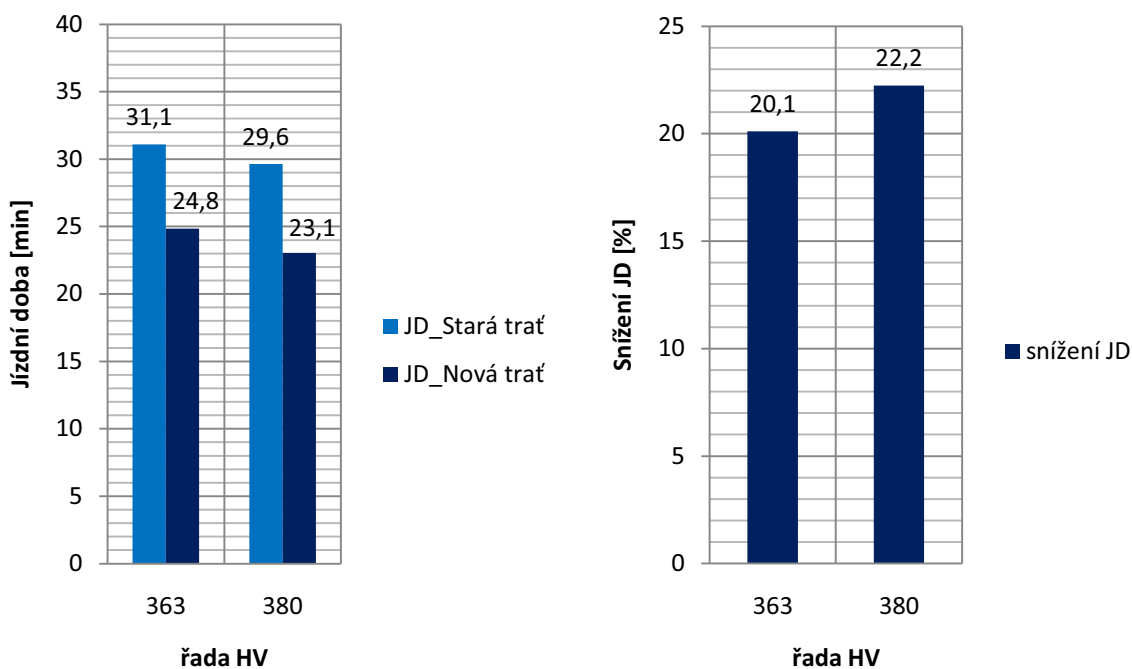
Obr. 51 – procentuelní snížení JD pro vlak Ex 140 a různá HV (1. TK, CT-Z)



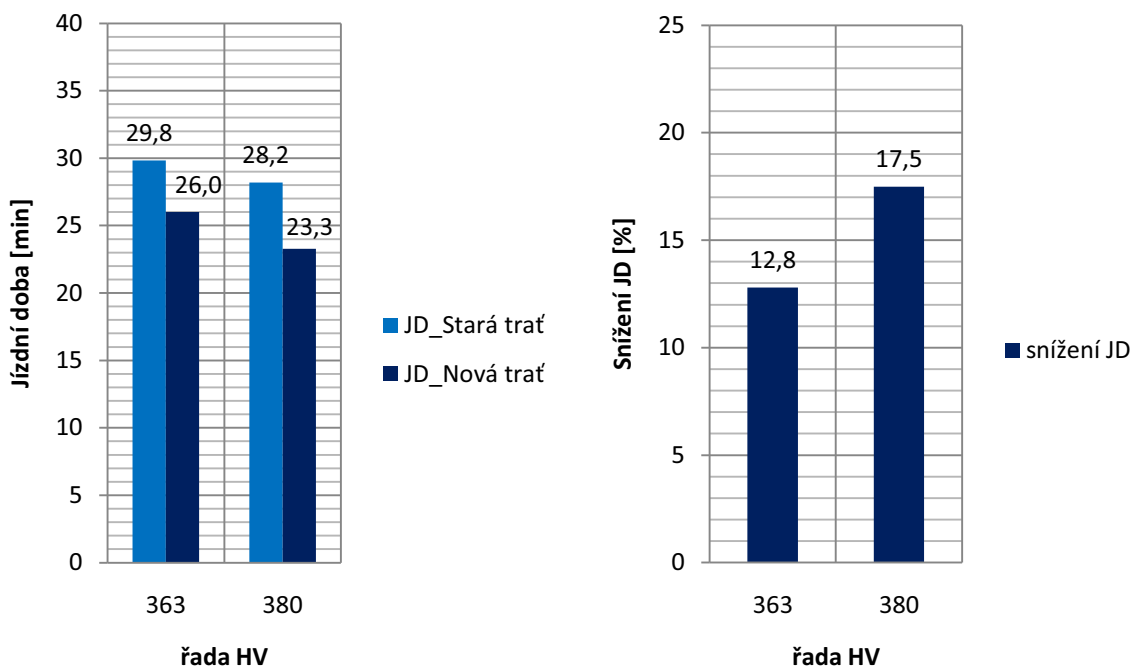
Obr. 52 – porovnání JD pro vlak Ex 140 a různá HV (2. TK, Z-CT)



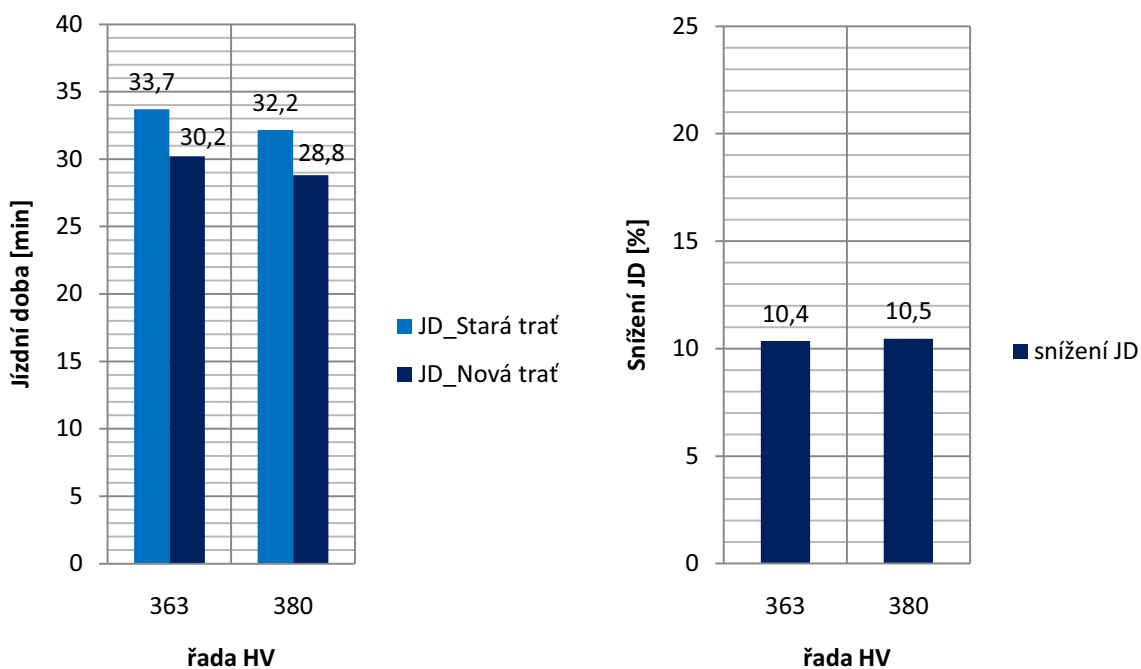
Obr. 53 – procentuelní snížení JD pro vlak Ex 140 a různá HV (2. TK, Z-CT)



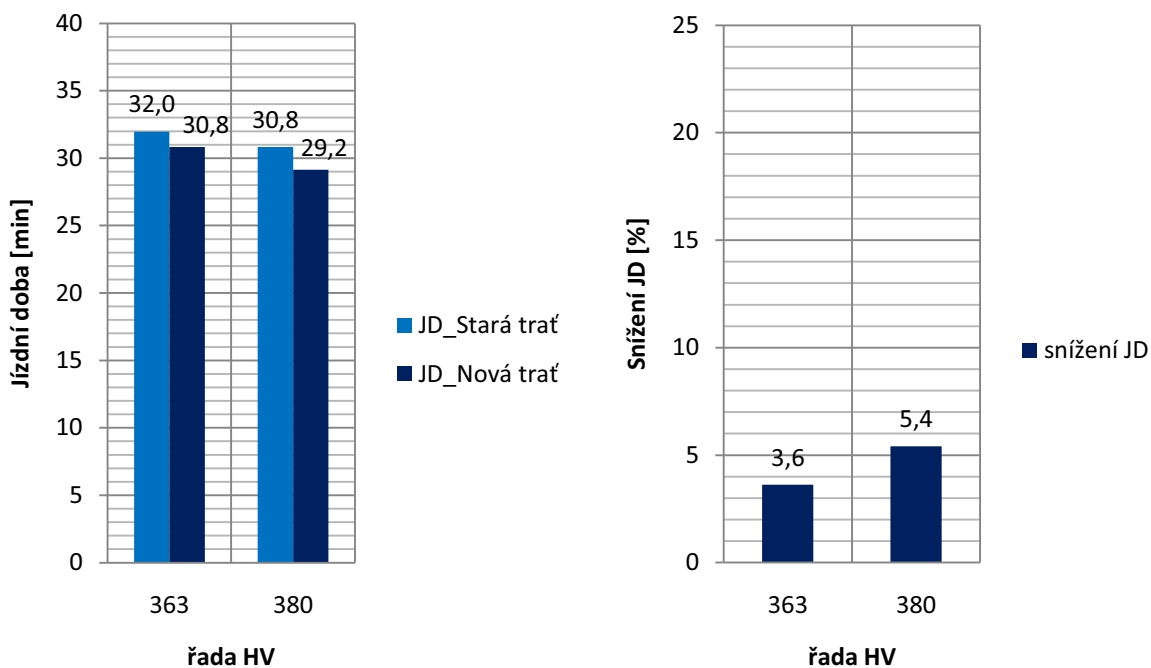
Obr. 54 – porovnání JD a jejího snížení pro vlak Nk a různá HV (1. TK, CT-Z)



Obr. 55 – porovnání JD a jejího snížení pro vlak Nk a různá HV (2. TK, Z-CT)

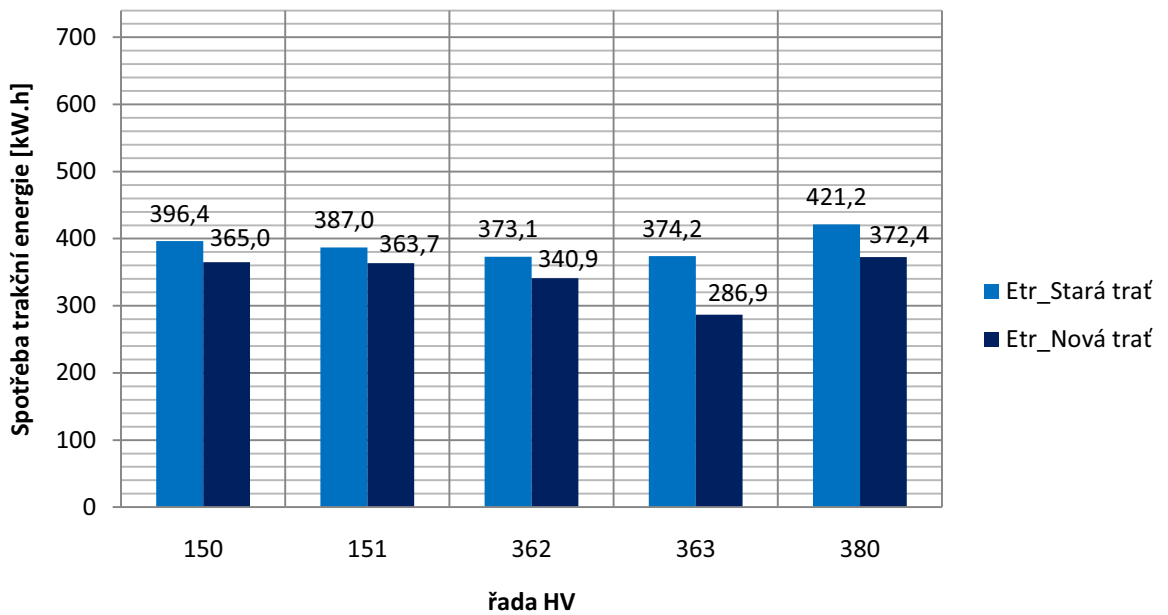


Obr. 56 – porovnání JD a jejího snížení pro vlak Nu a různá HV (1. TK, CT-Z)

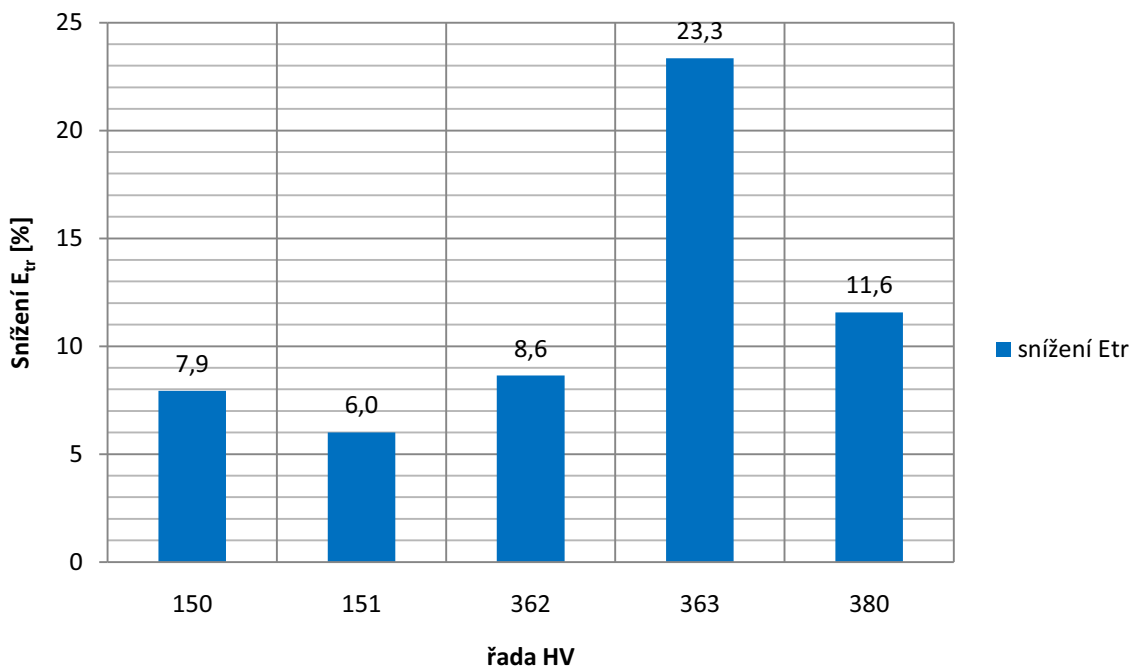


Obr. 57 – porovnání JD a jejího snížení pro vlak Nu a různá HV (2. TK, Z-CT)

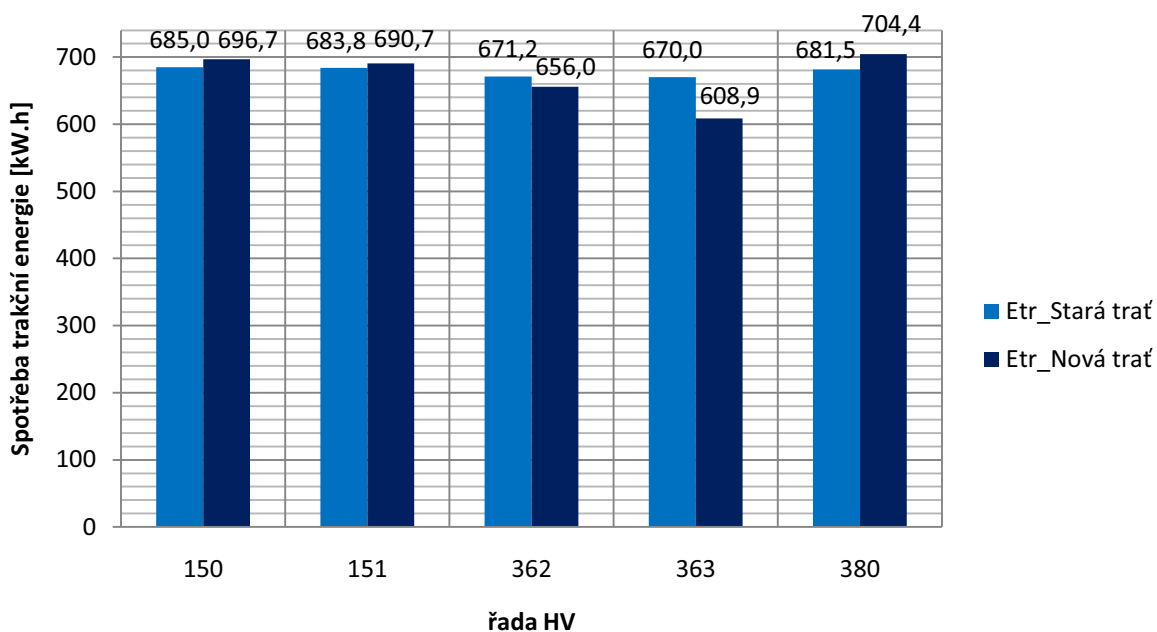
9.2 Spotřeba trakční energie



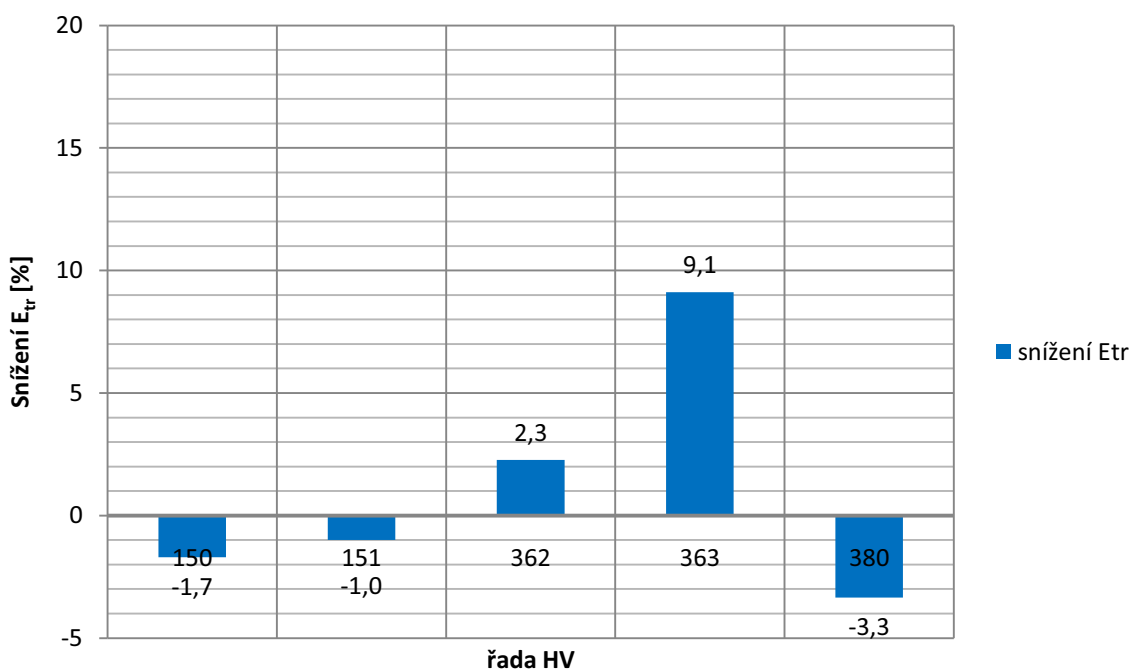
Obr. 58 – porovnání E_{tr} pro vlak R 470 a různá HV (1. TK, CT-Z)



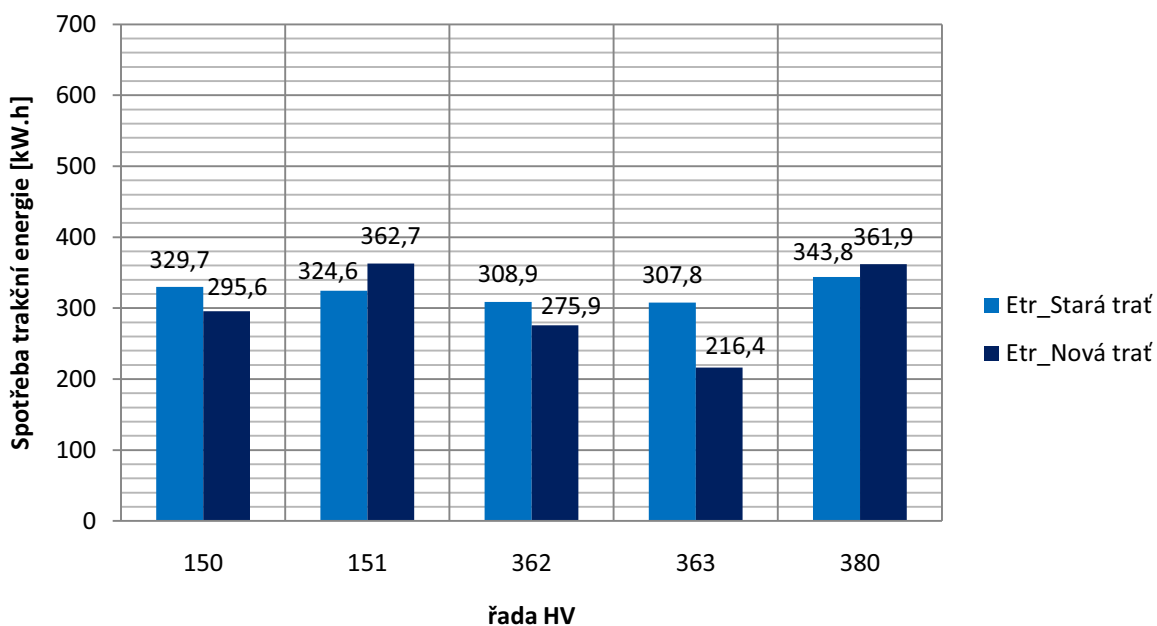
Obr. 59 – procentuelní snížení E_{tr} pro vlak R 470 a různá HV (1. TK, CT-Z)



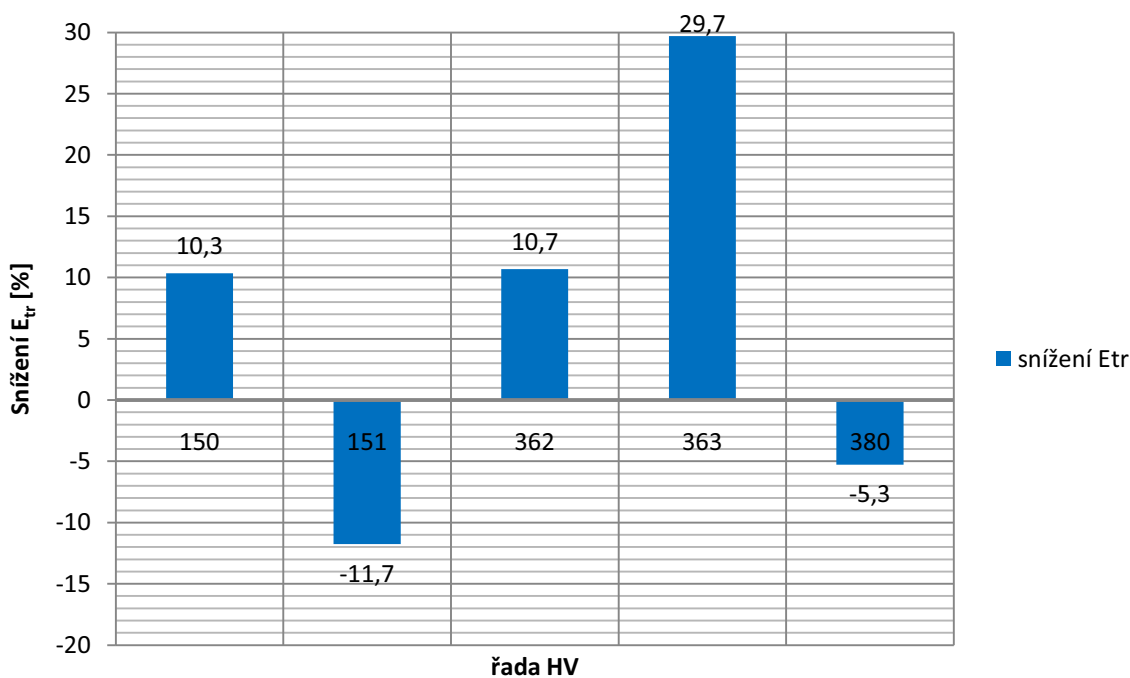
Obr. 60 – porovnání E_{tr} pro vlak R 470 a různá HV (2. TK, Z-CT)



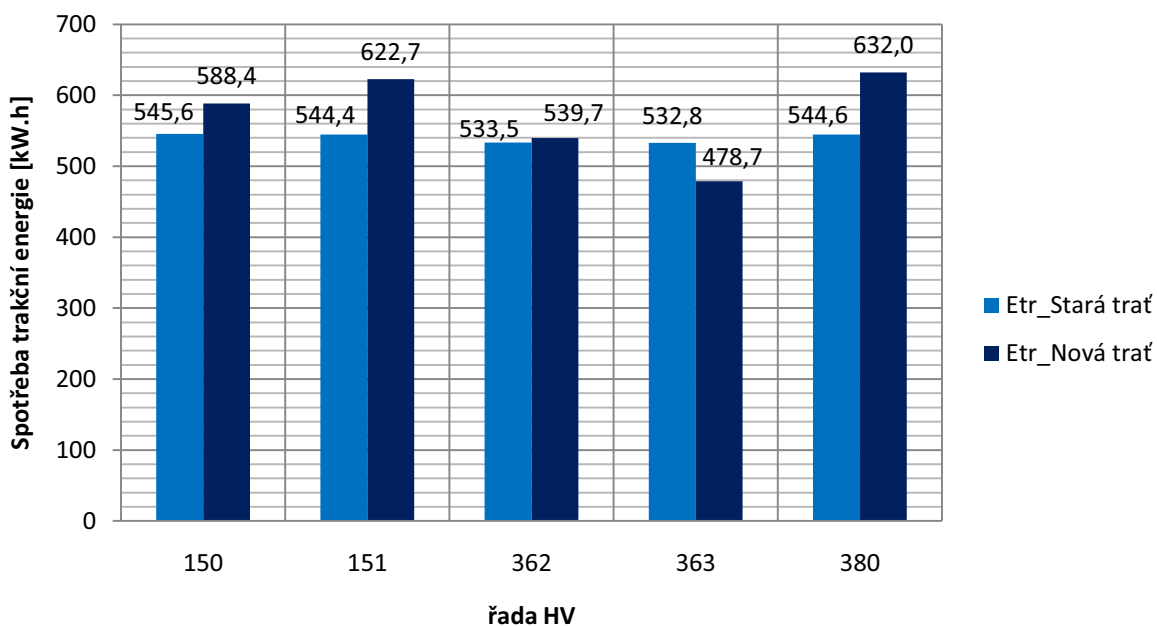
Obr. 61 – procentuelní snížení E_{tr} pro vlak R 470 a různá HV (2. TK, Z-CT)



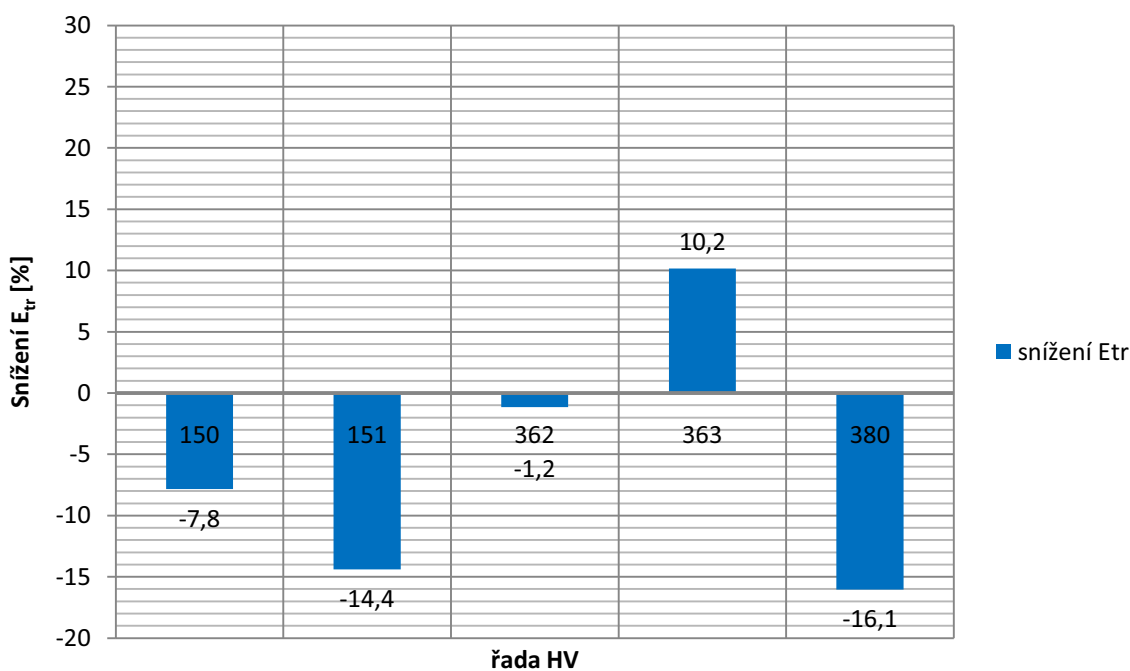
Obr. 62 – porovnání E_{tr} pro vlak EC 110 a různá HV (1. TK, CT-Z)



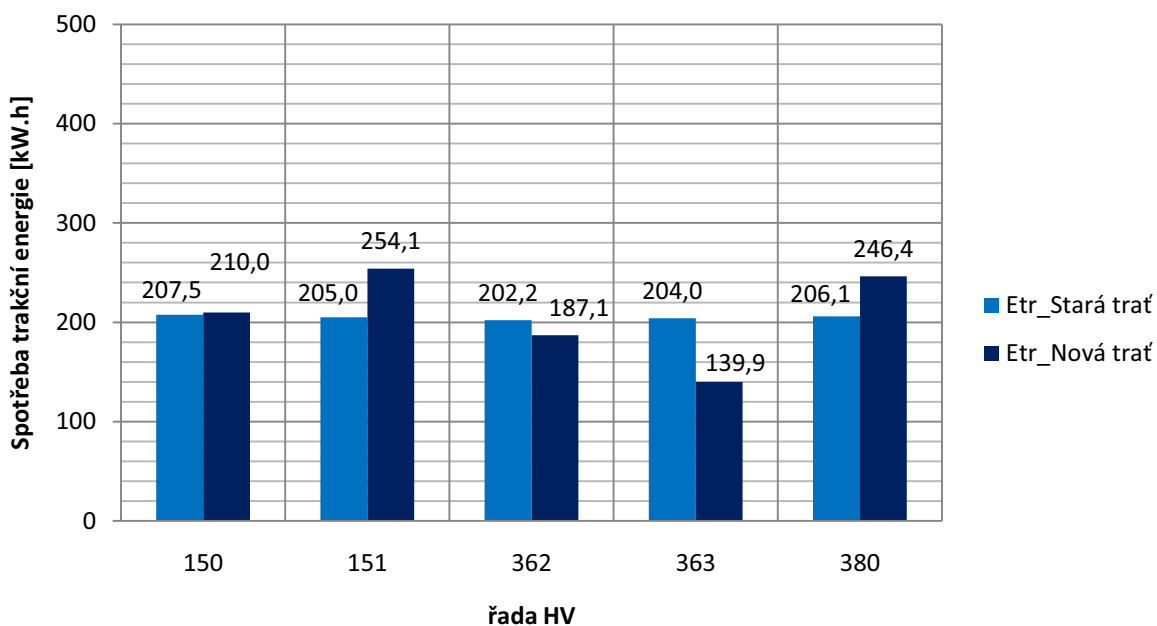
Obr. 63 – procentuelní snížení E_{tr} pro vlak EC 110 a různá HV (1. TK, CT-Z)



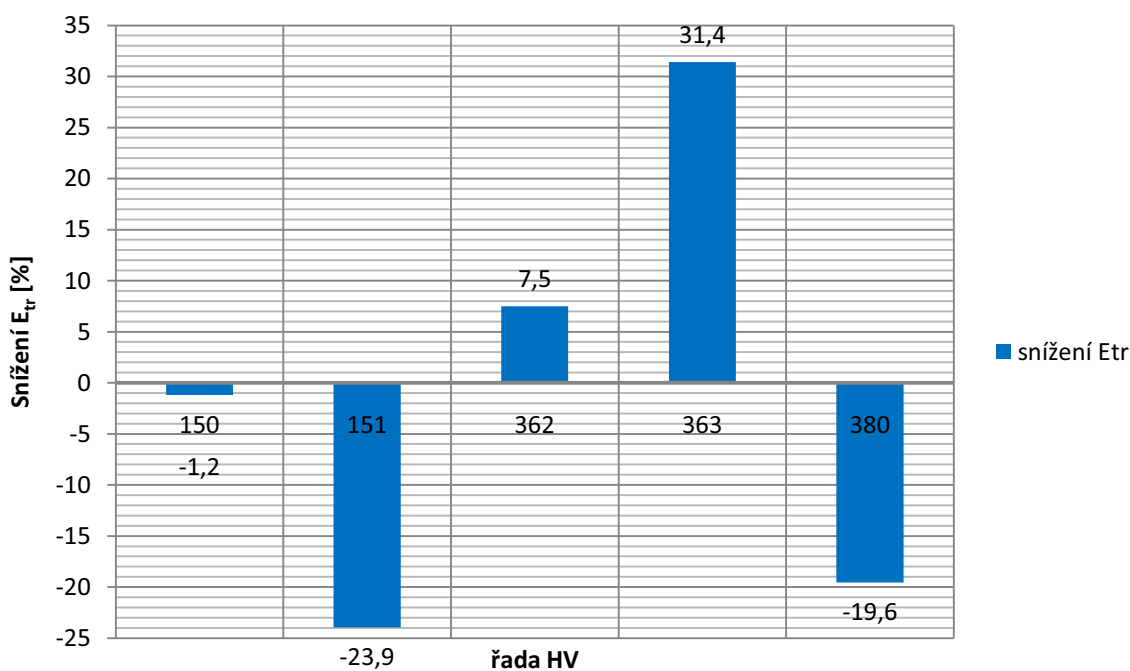
Obr. 64 – porovnání E_{tr} pro vlak EC 110 a různá HV (2. TK, Z-CT)



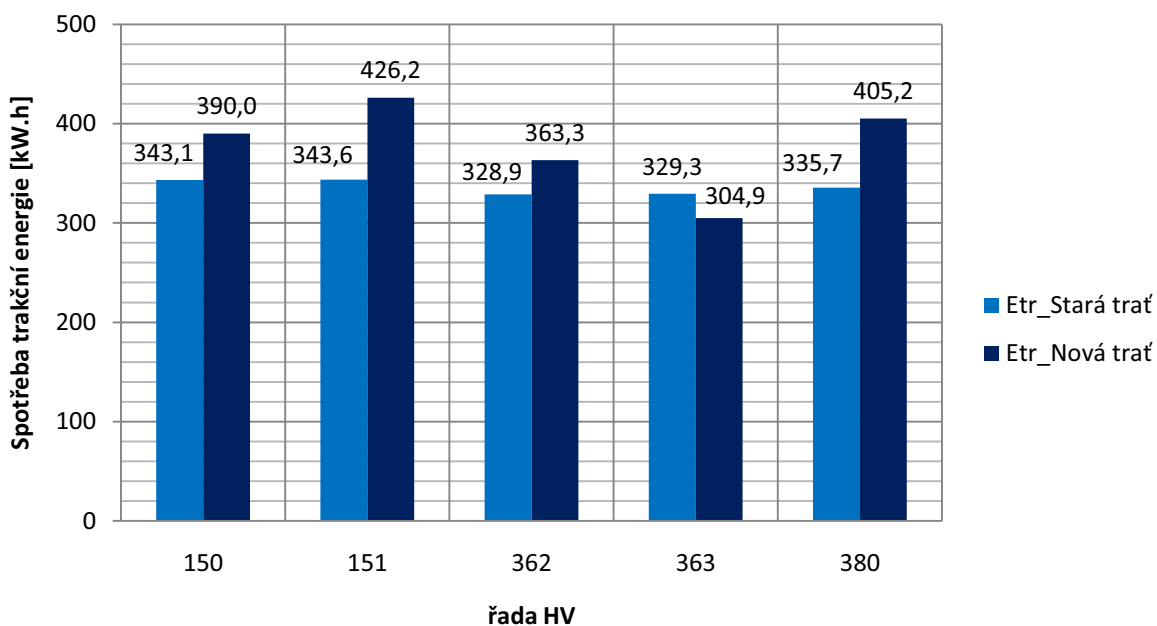
Obr. 65 – procentuelní snížení E_{tr} pro vlak EC 110 a různá HV (2. TK, Z-CT)



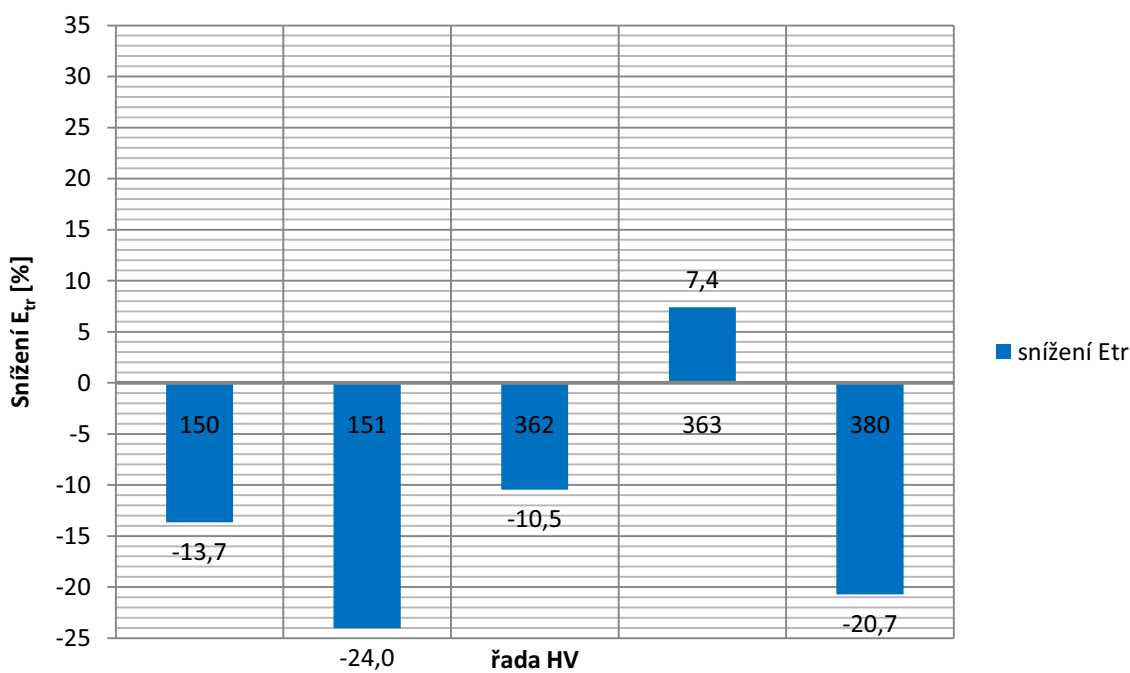
Obr. 66 – porovnání E_{tr} pro vlak Ex 140 a různá HV (1. TK, CT-Z)



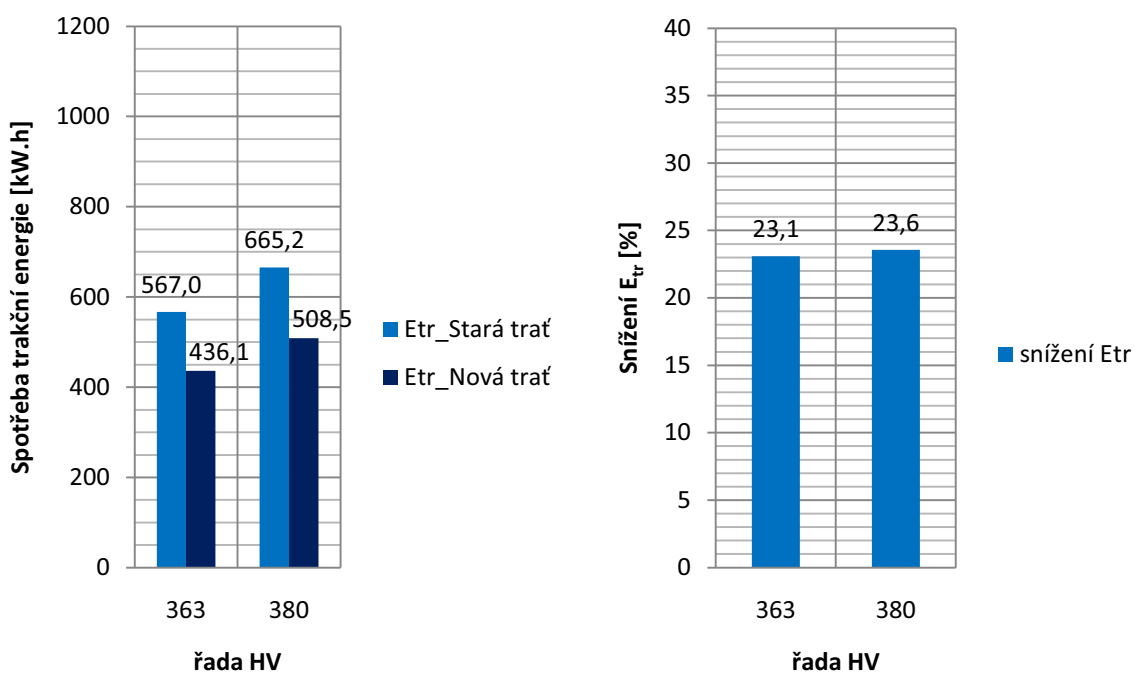
Obr. 67 – procentuelní snížení E_{tr} pro vlak Ex 140 a různá HV (1. TK, CT-Z)



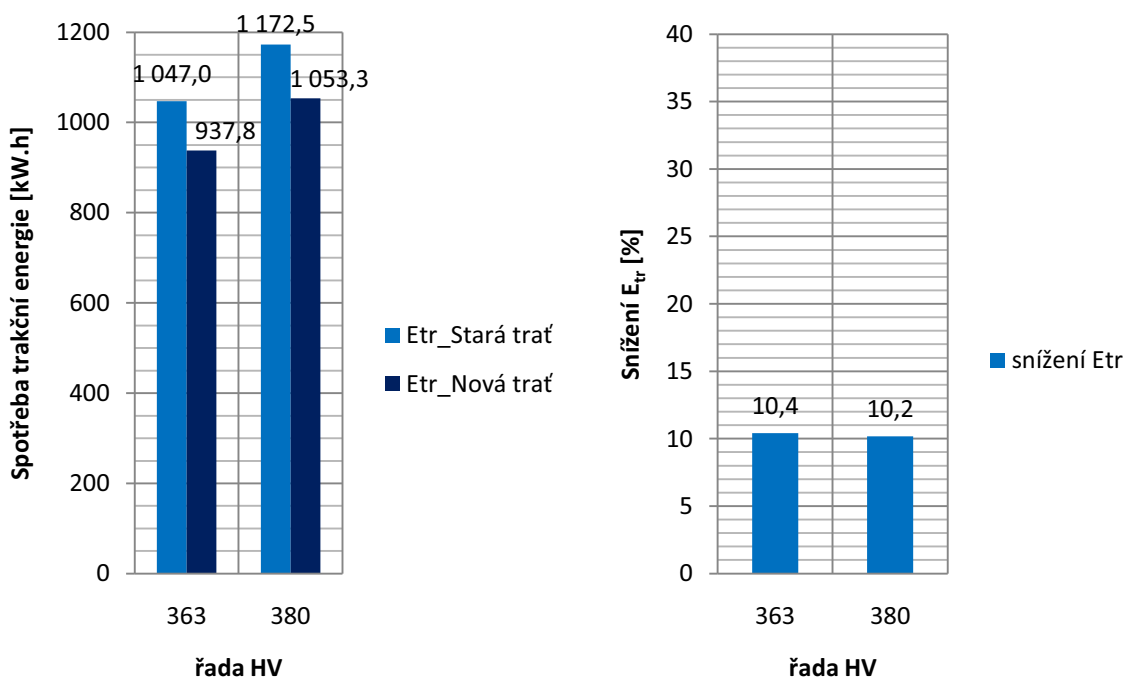
Obr. 68 – porovnání E_{tr} pro vlak Ex 140 a různá HV (2. TK, Z-CT)



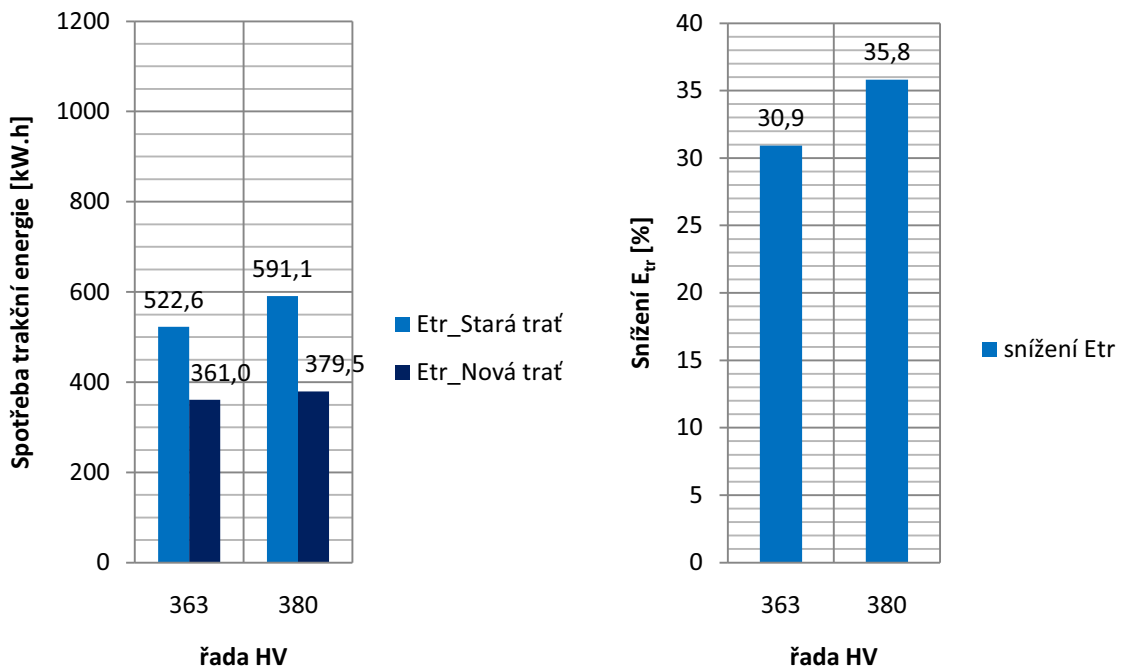
Obr. 69 – procentuelní snížení E_{tr} pro vlak Ex 140 a různá HV (2. TK, Z-CT)



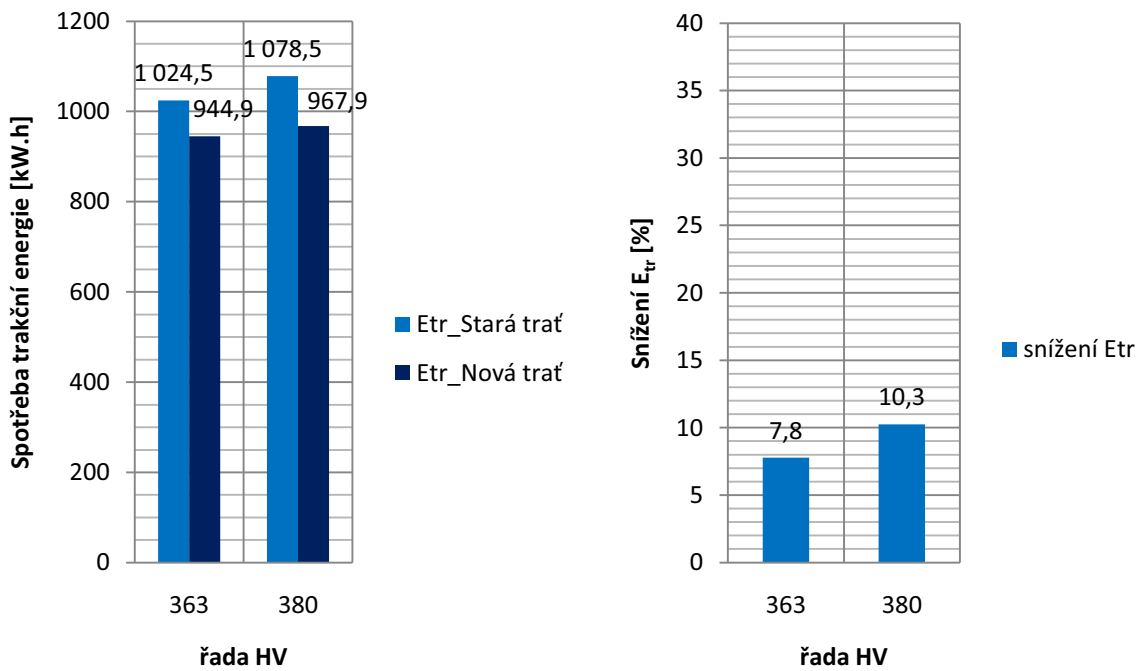
Obr. 70 – porovnání E_{tr} a jejího snížení pro vlak Nk a různá HV (1. TK, CT-Z)



Obr. 71 – porovnání E_{tr} a jejího snížení pro vlak Nk a různá HV (2. TK, Z-CT)

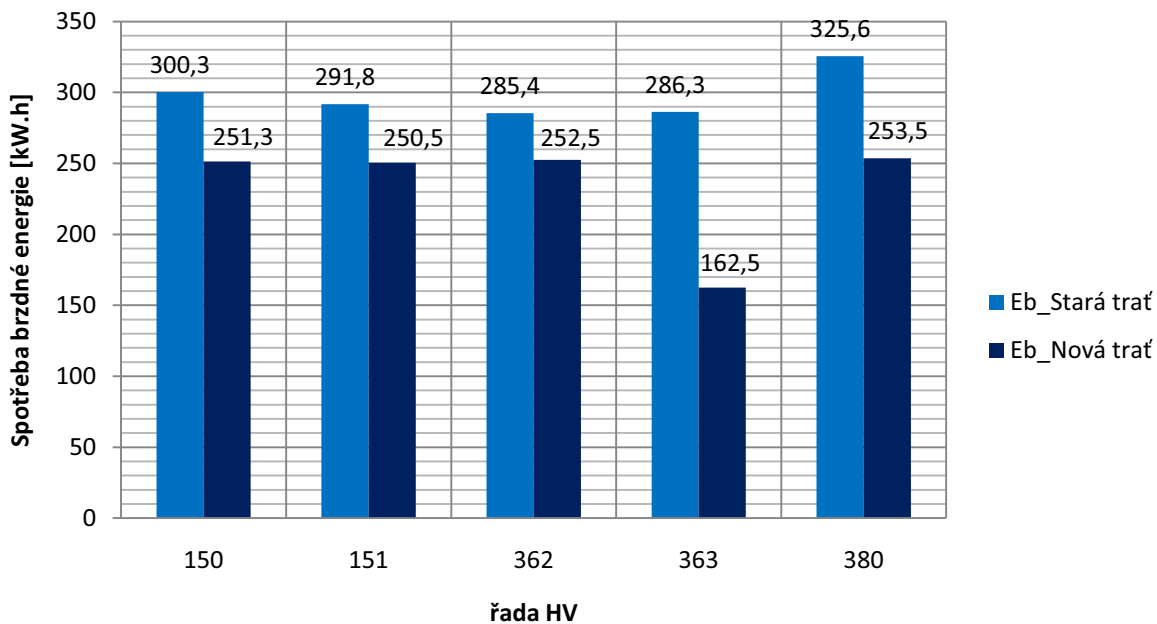


Obr. 72 – porovnání E_{tr} a jejího snížení pro vlak Nu a různá HV (1. TK, CT-Z)

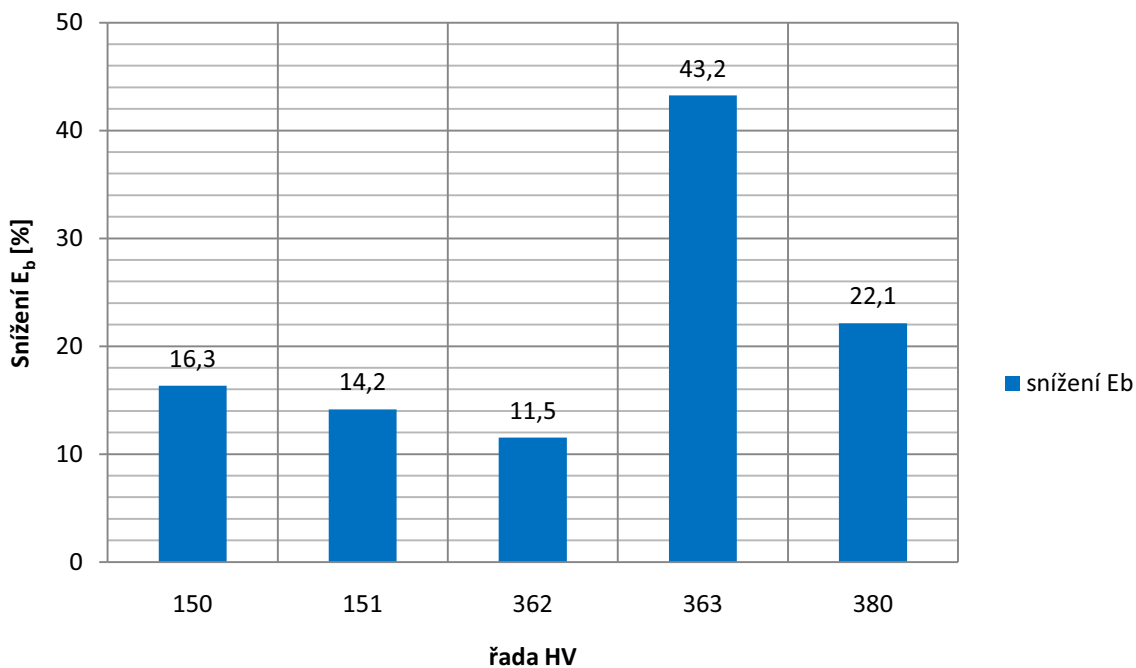


Obr. 73 – porovnání E_{tr} a jejího snížení pro vlak Nu a různá HV (2. TK, Z-CT)

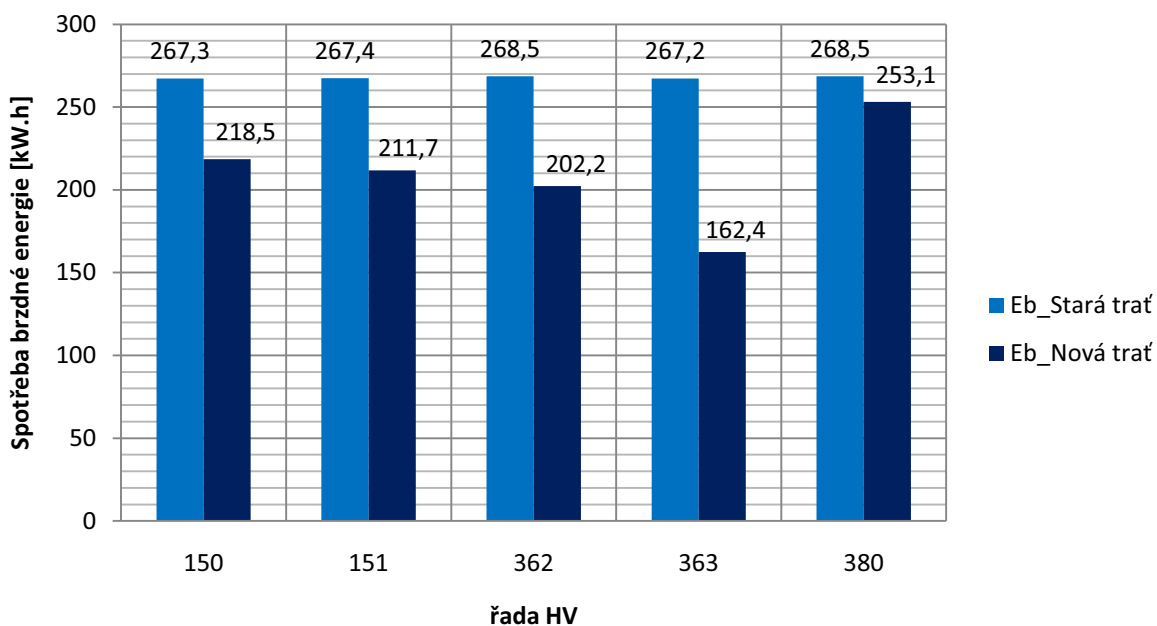
9.3 Spotřeba brzdné energie



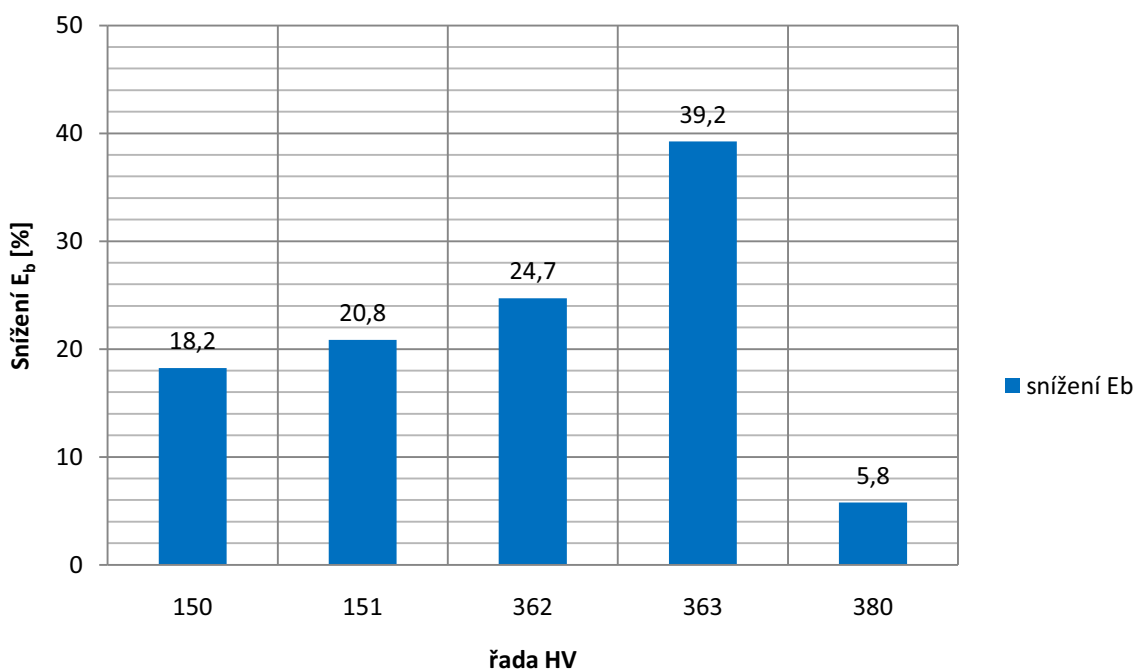
Obr. 74 – porovnání E_b pro vlak R 470 a různá HV (1. TK, CT-Z)



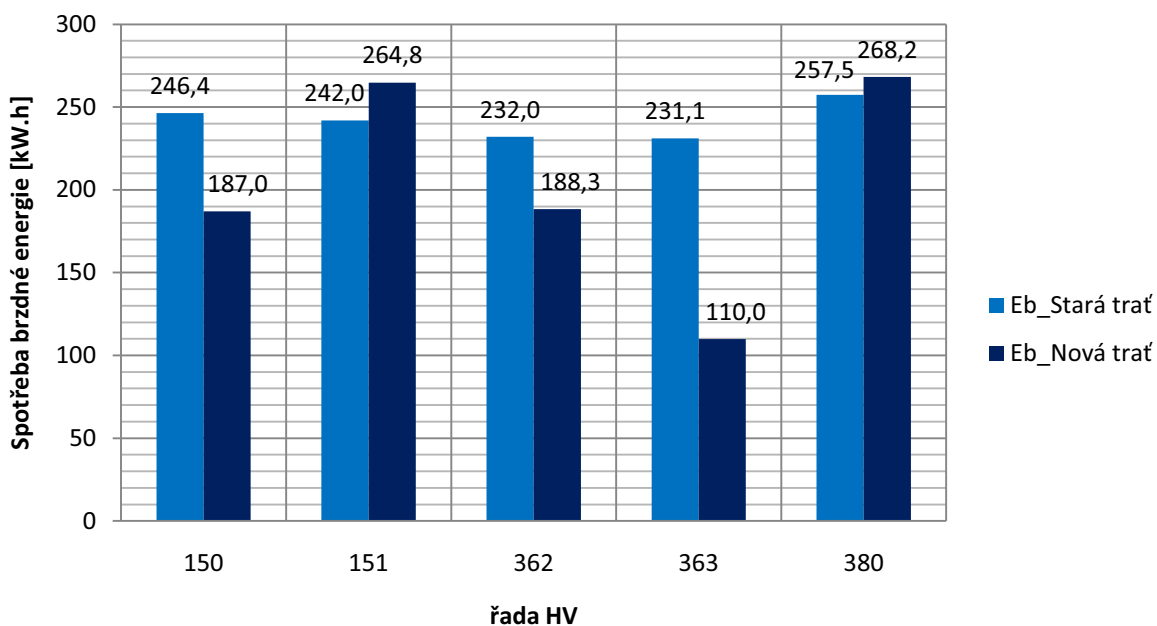
Obr. 75 – procentuelní snížení E_b pro vlak R 470 a různá HV (1. TK, CT-Z)



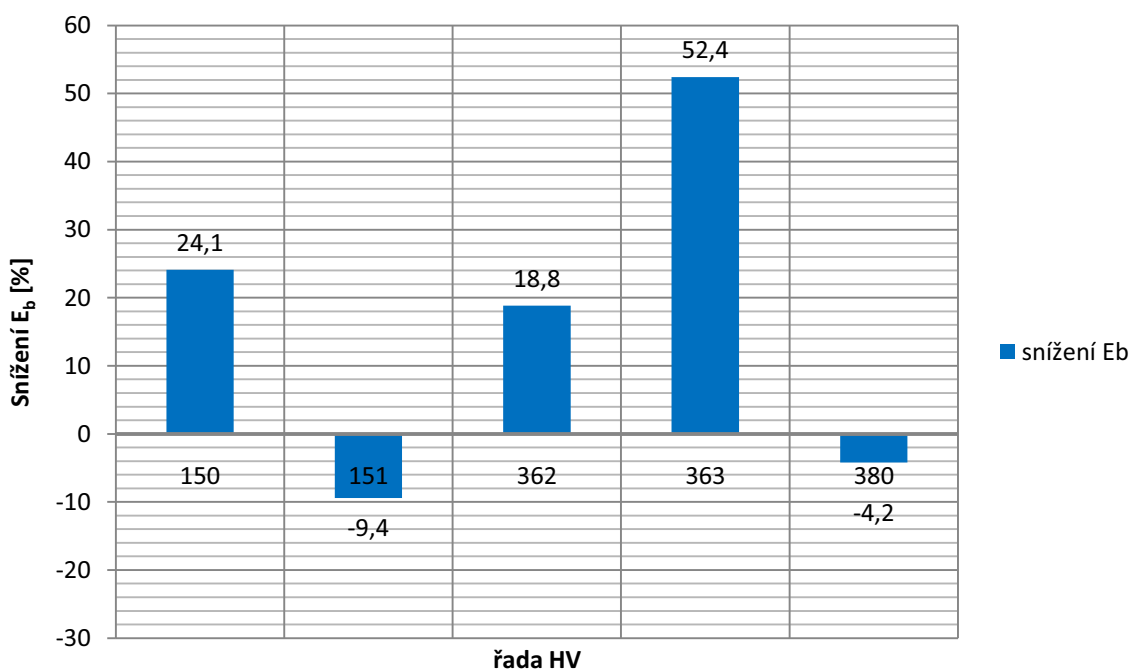
Obr. 76 – porovnání E_b pro vlak R 470 a různá HV (2. TK, Z-CT)



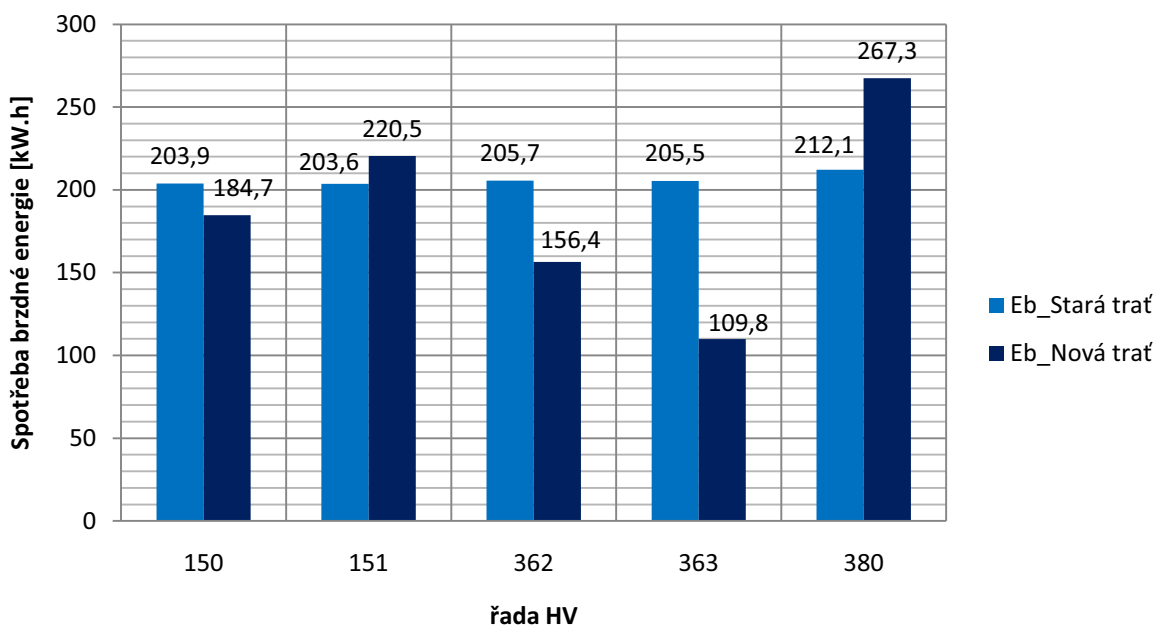
Obr. 77 – procentuelní snížení E_b pro vlak R 470 a různá HV (2. TK, Z-CT)



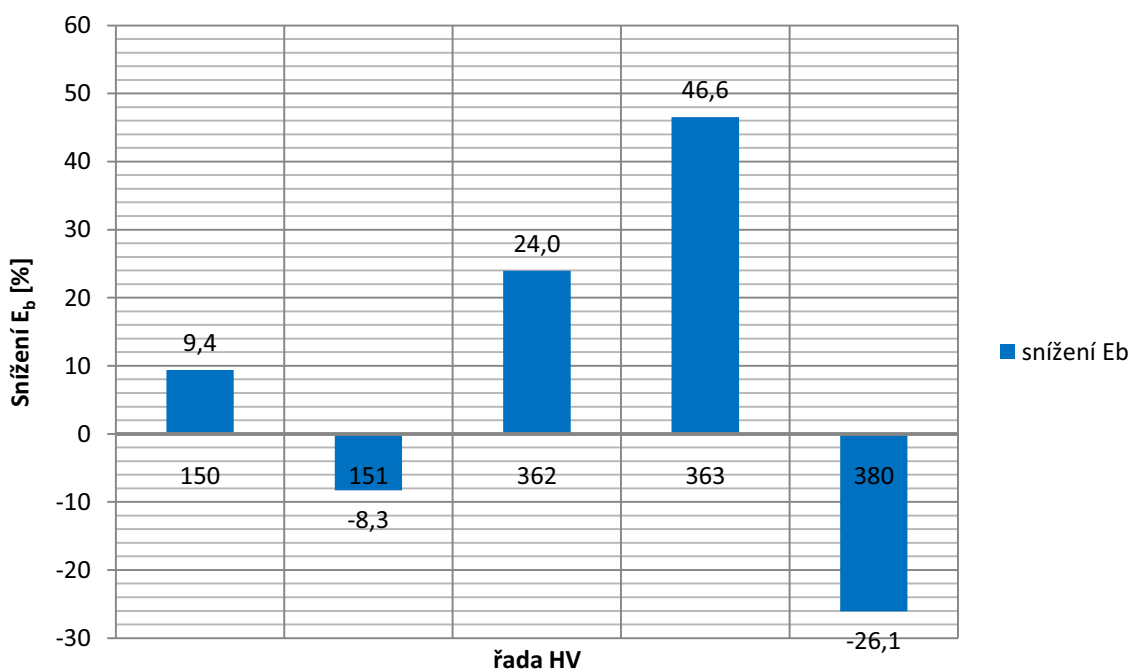
Obr. 78 – porovnání E_b pro vlak EC 110 a různá HV (1. TK, CT-Z)



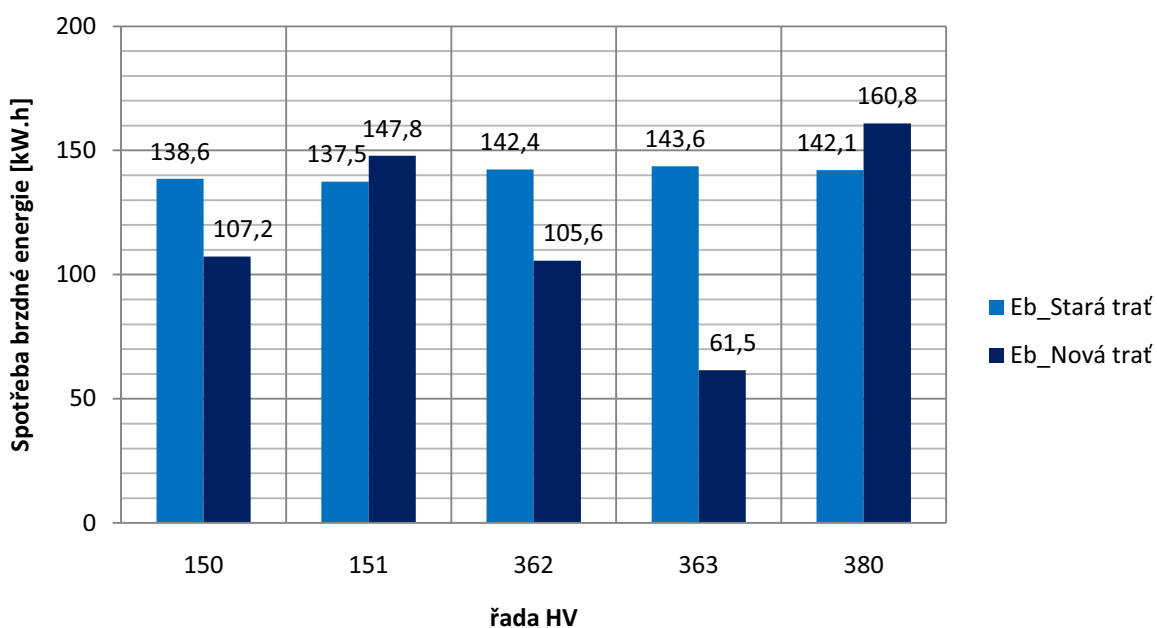
Obr. 79 – procentuelní snížení E_b pro vlak EC 110 a různá HV (1. TK, CT-Z)



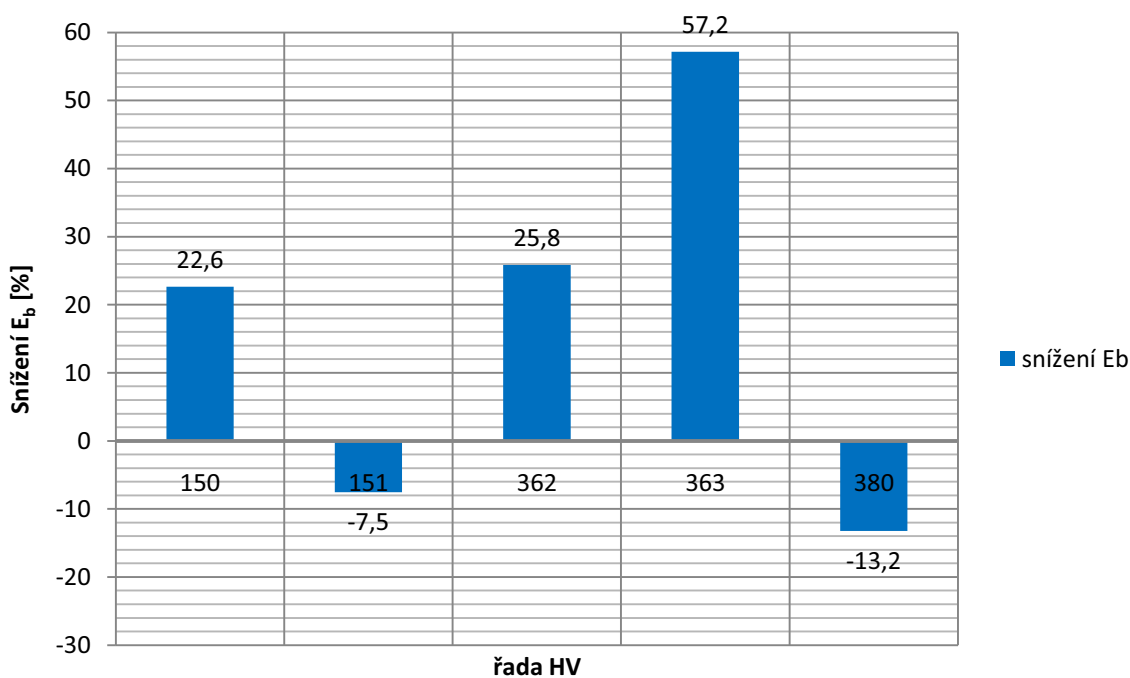
Obr. 80 – porovnání E_b pro vlak EC 110 a různá HV (2. TK, Z-CT)



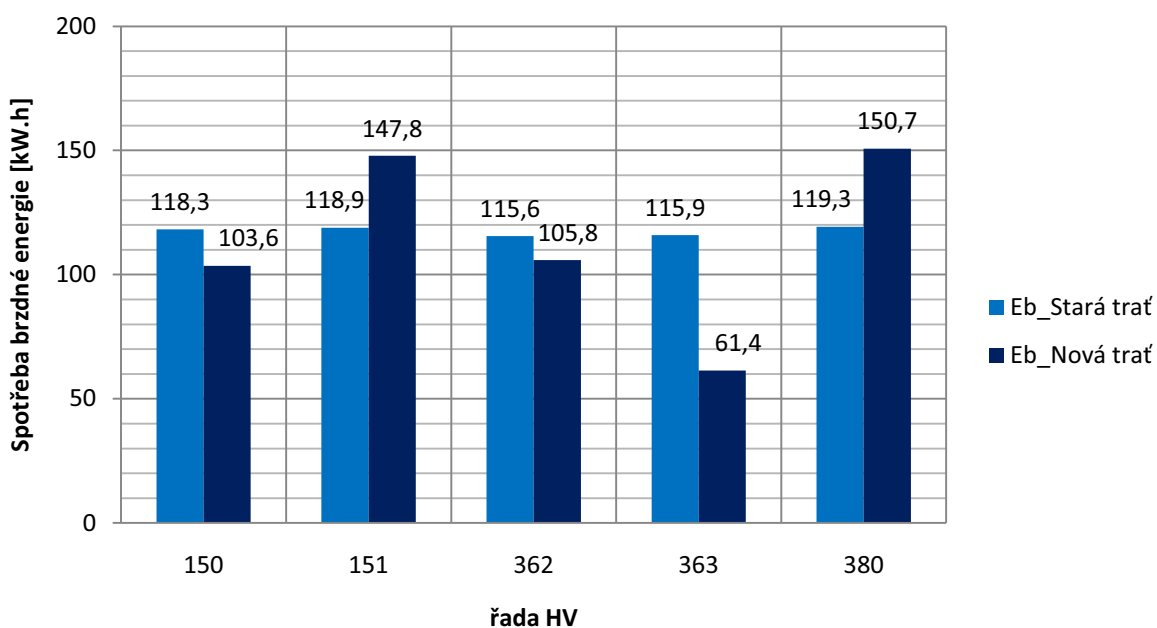
Obr. 81 – procentuelní snížení E_b pro vlak EC 110 a různá HV (2. TK, Z-CT)



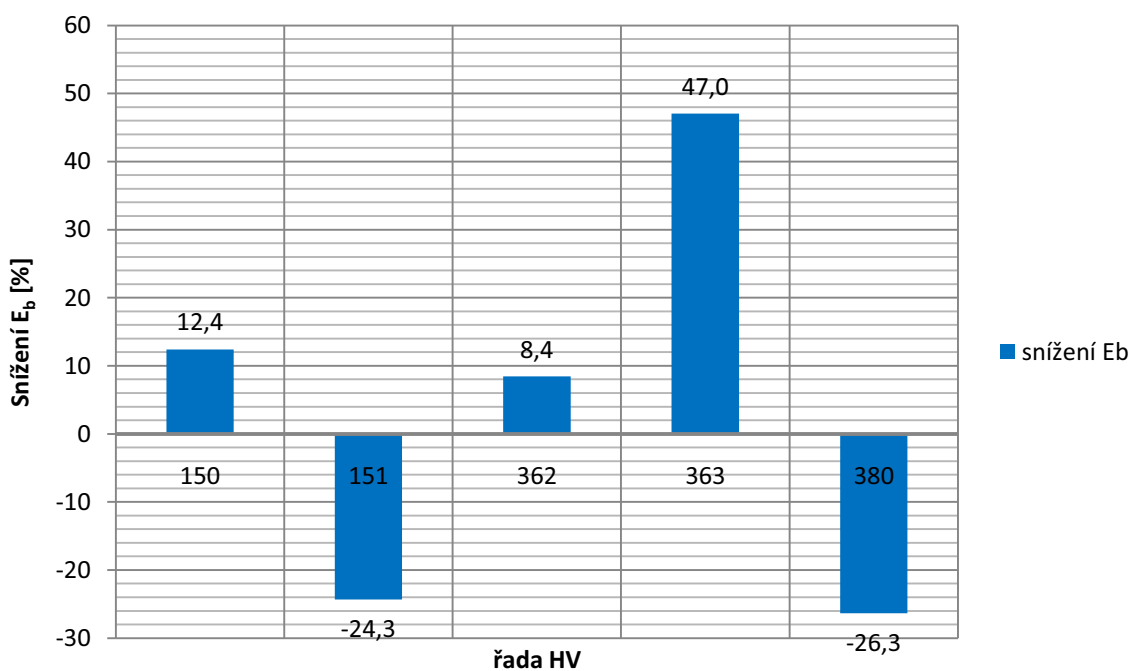
Obr. 82 – porovnání E_b pro vlak Ex 140 a různá HV (1. TK, CT-Z)



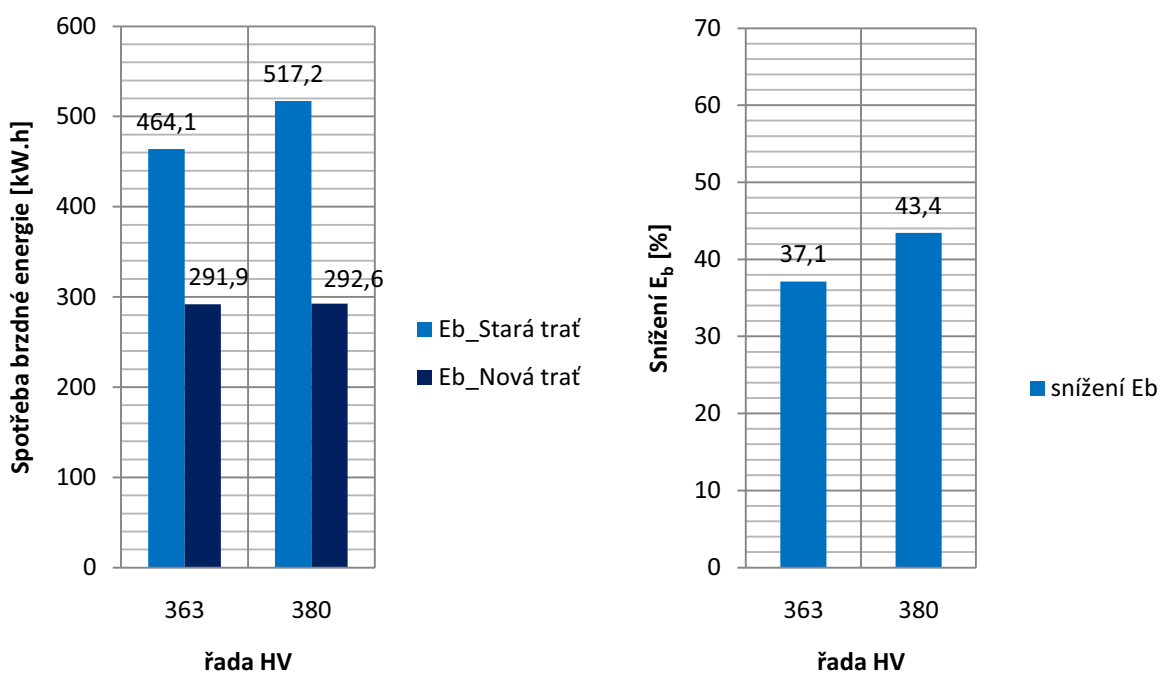
Obr. 83 – procentuelní snížení E_b pro vlak Ex 140 a různá HV (1. TK, CT-Z)



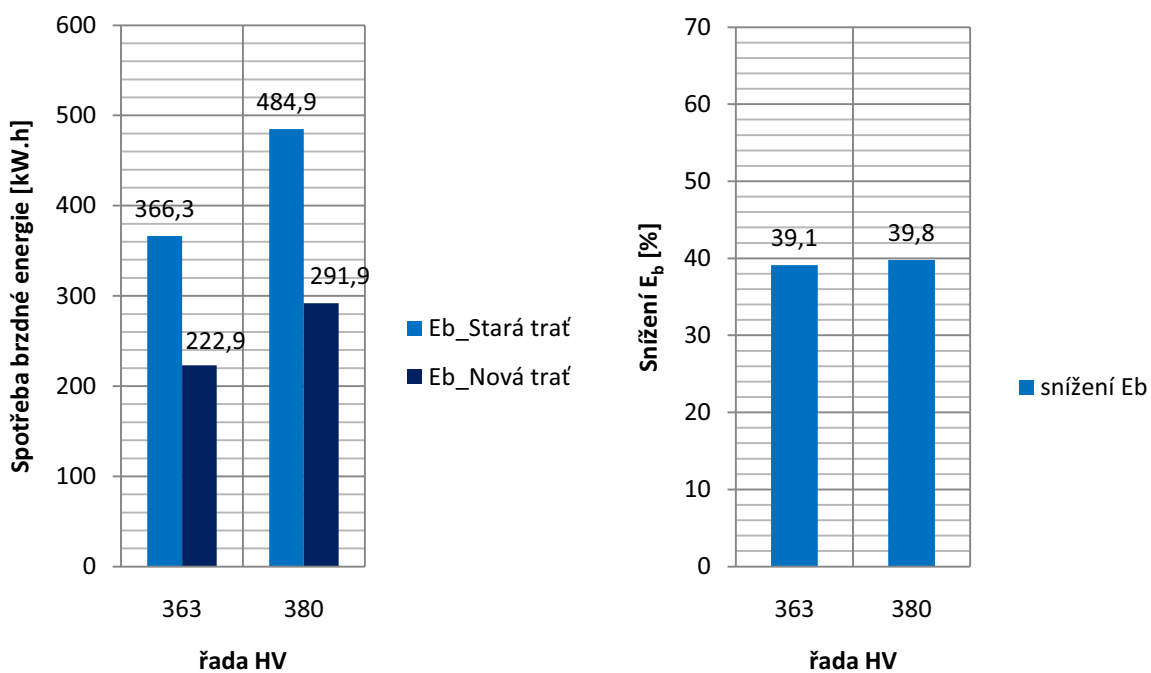
Obr. 84 – porovnání E_b pro vlak Ex 140 a různá HV (2. TK, Z-CT)



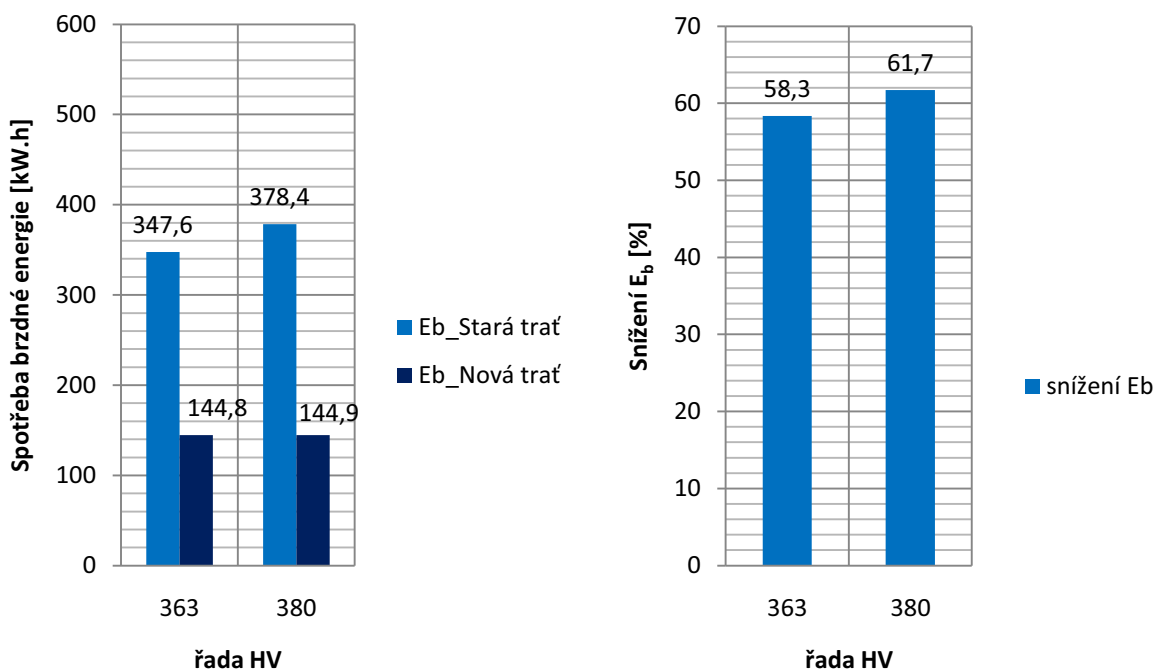
Obr. 85 – procentuelní snížení E_b pro vlak Ex 140 a různá HV (2. TK, Z-CT)



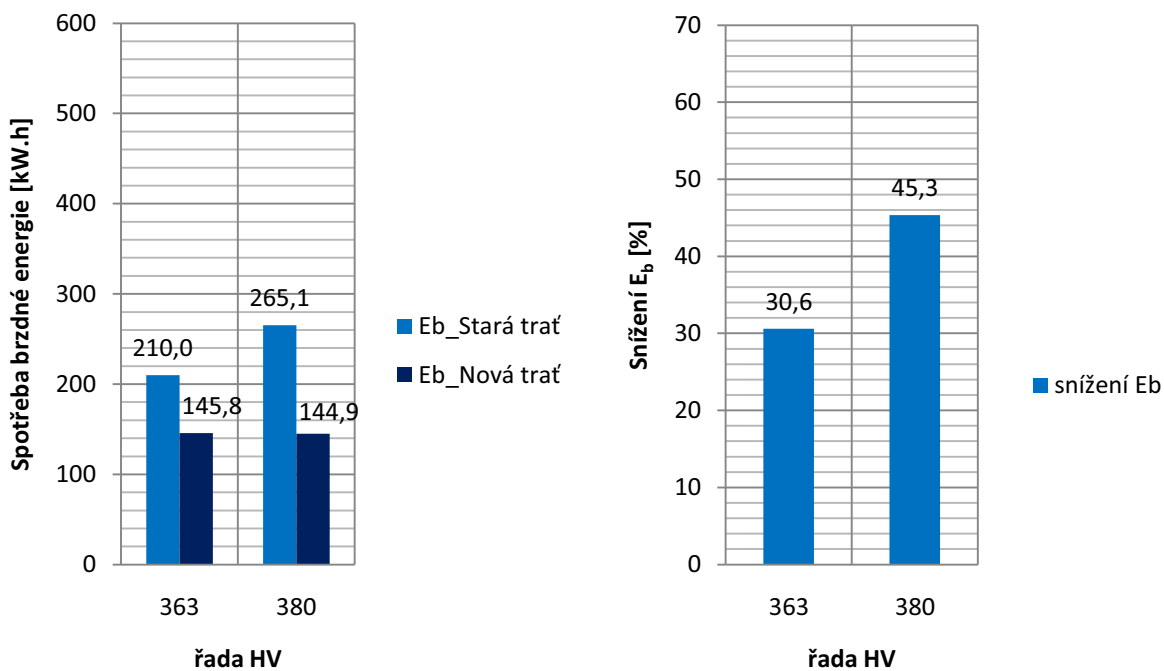
Obr. 86 – porovnání E_b a jejího snížení pro vlak Nk a různá HV (1. TK, CT-Z)



Obr. 87 – porovnání E_b a jejího snížení pro vlak Nk a různá HV (2. TK, Z-CT)



Obr. 88 – porovnání E_b a jejího snížení pro vlak Nu a různá HV (1. TK, CT-Z)

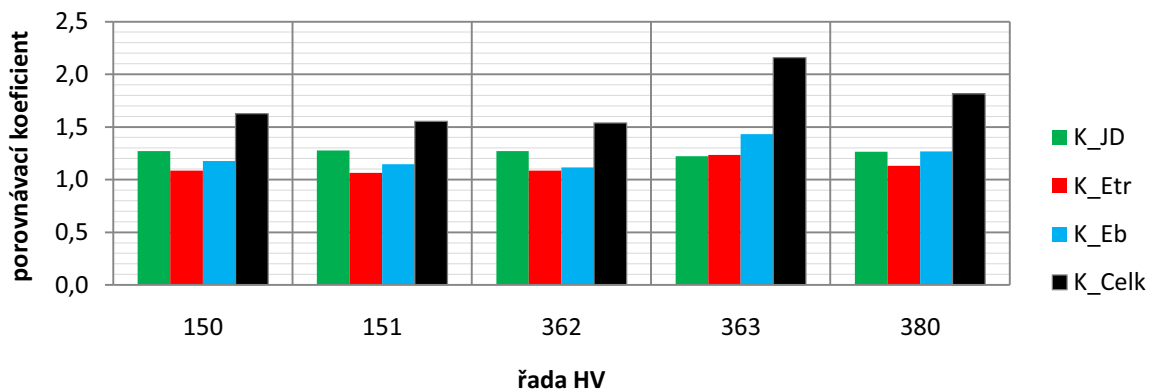


Obr. 89 – porovnání E_b a jejího snížení pro vlak Nu a různá HV (2. TK, Z-CT)

9.4 Porovnávací koeficienty

Tab. 17 – porovnávací koeficienty pro vlak R 470 (1. TK, CT-Z)

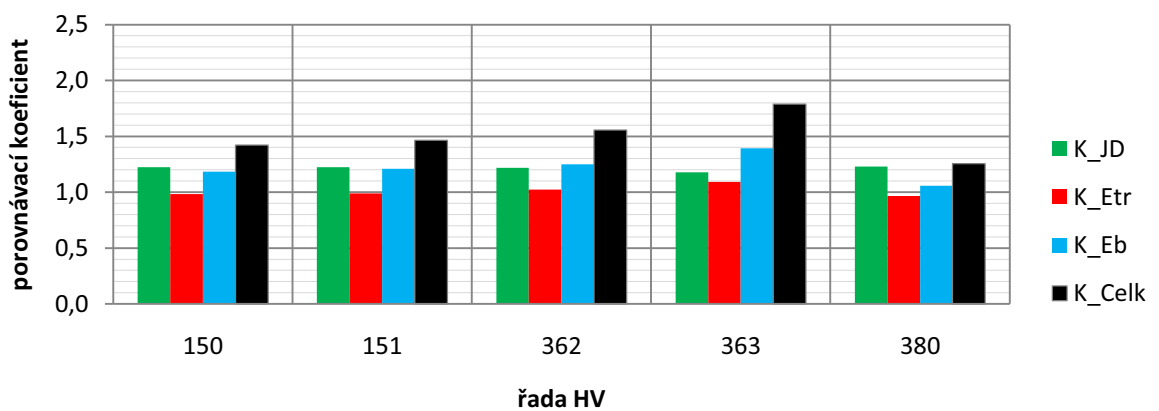
Řada HV	K_{JD}	K_{Etr}	K_{Eb}	K_C
150	1.2716	1.0855	1.1772	1.6249
151	1.2755	1.0631	1.1466	1.5548
362	1.2701	1.0858	1.1145	1.5371
363	1.2217	1.2334	1.4324	2.1585
380	1.2654	1.1308	1.2672	1.8134



Obr. 90 – porovnávací koeficienty pro vlak R 470 (1. TK, CT-Z)

Tab. 18 – porovnávací koeficienty pro vlak R 470 (2. TK, Z-CT)

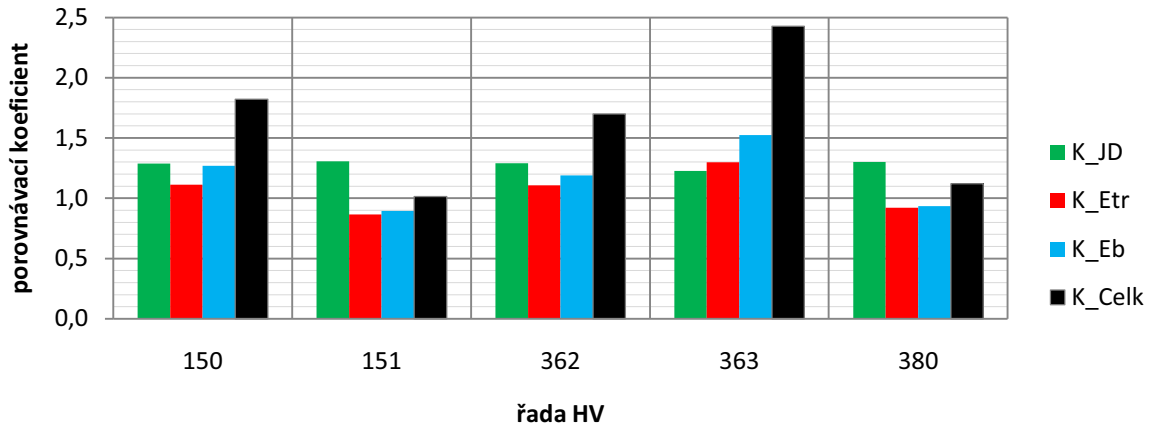
Řada HV	K_{JD}	K_{Etr}	K_{Eb}	K_C
150	1.2234	0.9817	1.1826	1.4202
151	1.2246	0.9892	1.2088	1.4643
362	1.2169	1.0228	1.2495	1.5551
363	1.1774	1.0912	1.3923	1.7888
380	1.2287	0.9651	1.0582	1.2548



Obr. 91 – porovnávací koeficienty pro vlak R 470 (2. TK, Z-CT)

Tab. 19 – porovnávací koeficienty pro vlak EC 110 (1. TK, CT-Z)

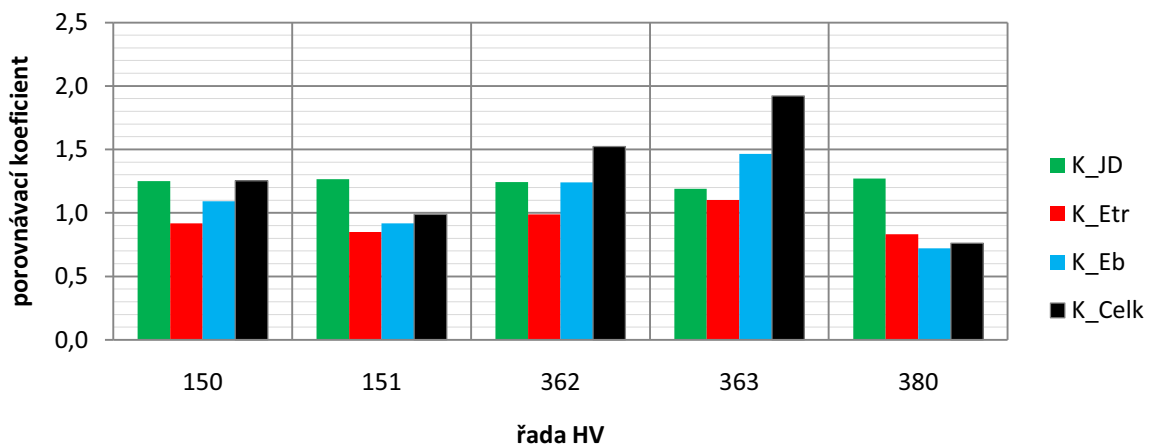
Řada HV	K_{JD}	K_{Etr}	K_{Eb}	K_C
150	1.2882	1.1136	1.2697	1.8215
151	1.3074	0.8664	0.8944	1.0131
362	1.2895	1.1076	1.1896	1.6990
363	1.2278	1.2970	1.5242	2.4273
380	1.3001	0.9206	0.9350	1.1192



Obr. 92 – porovnávací koeficienty pro vlak EC 110 (1. TK, CT-Z)

Tab. 20 – porovnávací koeficienty pro vlak EC 110 (2. TK, Z-CT)

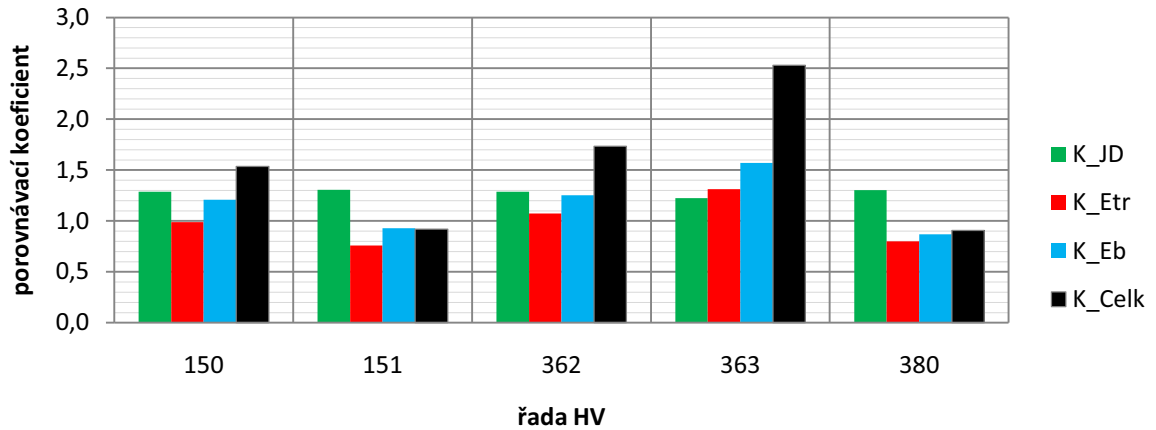
Řada HV	K_{JD}	K_{Etr}	K_{Eb}	K_C
150	1.2502	0.9171	1.0922	1.2524
151	1.2658	0.8493	0.9186	0.9876
362	1.2433	0.9884	1.2400	1.5238
363	1.1901	1.1016	1.4655	1.9213
380	1.2704	0.8318	0.7213	0.7622



Obr. 93 – porovnávací koeficienty pro vlak EC 110 (2. TK, Z-CT)

Tab. 21 – porovnávací koeficienty pro vlak Ex 140 (1. TK, CT-Z)

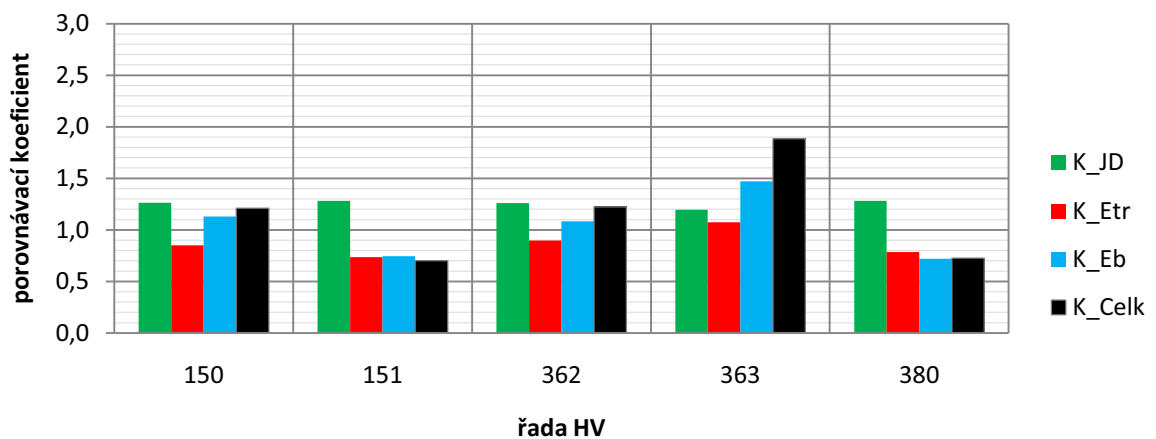
Řada HV	K_{JD}	K_{Etr}	K_{Eb}	K_C
150	1.2864	0.9875	1.2093	1.5363
151	1.3073	0.7583	0.9291	0.9210
362	1.2883	1.0736	1.2536	1.7338
363	1.2243	1.3142	1.5717	2.5286
380	1.3023	0.8003	0.8705	0.9073



Obr. 94 – porovnávací koeficienty pro vlak Ex 140 (1. TK, CT-Z)

Tab. 22 – porovnávací koeficienty pro vlak Ex 140 (2. TK, Z-CT)

Řada HV	K_{JD}	K_{Etr}	K_{Eb}	K_C
150	1.2621	0.8499	1.1288	1.2108
151	1.2825	0.7364	0.7435	0.7021
362	1.2604	0.8956	1.0837	1.2232
363	1.1939	1.0739	1.4705	1.8853
380	1.2831	0.7844	0.7202	0.7248



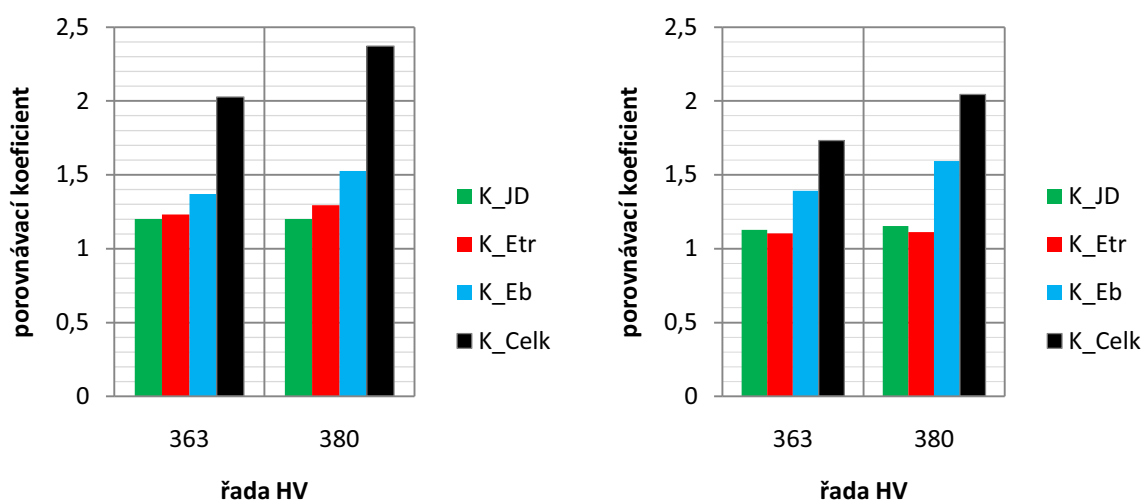
Obr. 95 – porovnávací koeficienty pro vlak Ex 140 (2. TK, Z-CT)

Tab. 23 – porovnávací koeficienty pro vlak Nk (1. TK, CT-Z)

Řada HV	K_{JD}	K_{Etr}	K_{Eb}	K_C
363	1.20107	1.23085	1.37114	2.027
380	1.20008	1.29433	1.52624	2.37071

Tab. 24 – porovnávací koeficienty pro vlak Nk (2. TK, Z-CT)

Řada HV	K_{JD}	K_{Etr}	K_{Eb}	K_C
363	1.12797	1.10423	1.39134	1.73297
380	1.15343	1.11312	1.59265	2.04481



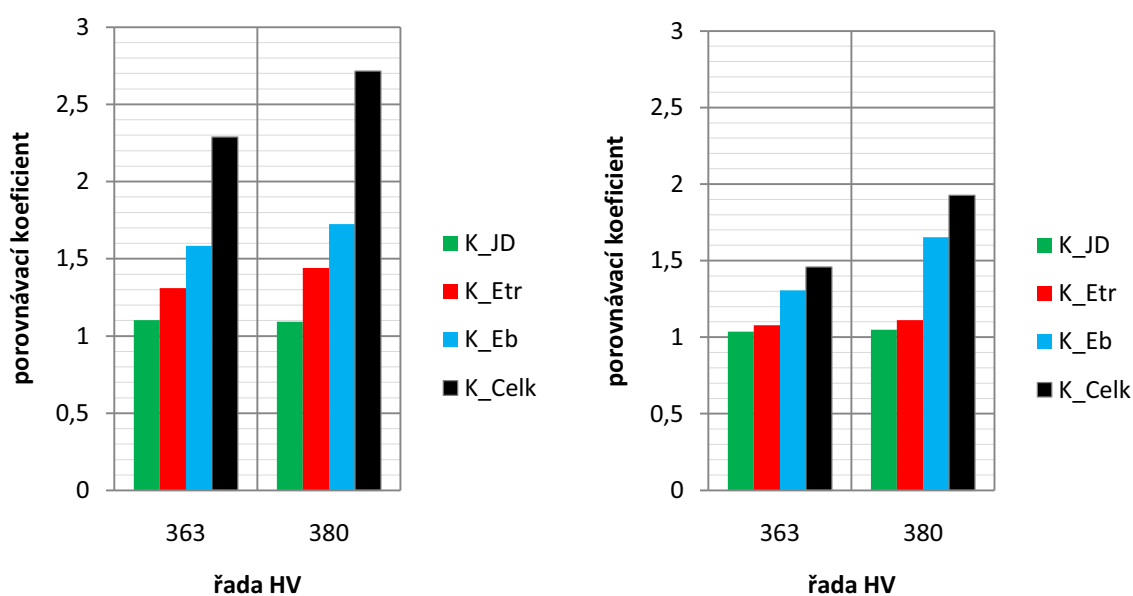
Obr. 96 – porovnávací koeficienty pro vlak Nk (1. TK, CT-Z) a (2. TK, Z-CT)

Tab. 25 – porovnávací koeficienty pro vlak Nu (1. TK, CT-Z)

Řada HV	K_{JD}	K_{Etr}	K_{Eb}	K_C
363	1.10358	1.30917	1.58336	2.28761
380	1.09322	1.44096	1.72387	2.71559

Tab. 26 – porovnávací koeficienty pro vlak Nu (2. TK, Z-CT)

Řada HV	K_{JD}	K_{Etr}	K_{Eb}	K_C
363	1.03623	1.07771	1.30597	1.45844
380	1.04892	1.11087	1.65364	1.92686



Obr. 97 – porovnávací koeficienty pro vlak Nu (1. TK, CT-Z) a (2. TK, Z-CT)

9.5 Tabulkový přehled jízdních dob a spotřeby energie

Tab. 27 – hodnoty jízdních dob a spotřeby energie pro vlak R 470 (1. TK, CT-Z)

	Jízdní doby		Spotřeba trakční energie		Spotřeba brzděné energie	
	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať
Řada HV	[min]	[min]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]
150	29.19	21.15	396.43	364.99	300.34	251.32
151	29.44	21.36	386.95	363.71	291.77	250.46
362	29.54	21.64	373.13	340.90	285.36	252.47
363	29.39	22.88	374.23	286.88	286.32	162.51
380	28.74	20.75	421.18	372.44	325.57	253.55

Tab. 28 – hodnoty jízdních dob a spotřeby energie pro vlak R 470 (2. TK, Z-CT)

	Jízdní doby		Spotřeba trakční energie		Spotřeba brzděné energie	
	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať
Řada HV	[min]	[min]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]
150	27.56	21.33	685.03	696.71	267.28	218.53
151	27.78	21.57	683.82	690.66	267.43	211.69
362	27.92	21.95	671.23	656.01	268.51	202.18
363	27.71	22.79	669.96	608.87	267.17	162.36
380	27.19	20.73	681.54	704.35	268.54	253.06

Tab. 29 – hodnoty jízdních dob a spotřeby energie pro vlak EC 110 (1. TK, CT-Z)

	Jízdní doby		Spotřeba trakční energie		Spotřeba brzděné energie	
	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať
Řada HV	[min]	[min]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]
150	28.49	20.19	329.67	295.57	246.44	187.03
151	28.63	19.82	324.59	362.72	241.98	264.79
362	28.76	20.50	308.91	275.91	231.98	188.31
363	28.64	22.12	307.78	216.36	231.12	109.96
380	28.14	19.38	343.80	361.90	257.45	268.24

Tab. 30 – hodnoty jízdních dob a spotřeby energie pro vlak EC 110 (2. TK, Z-CT)

	Jízdní doby		Spotřeba trakční energie		Spotřeba brzděné energie	
	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať
Řada HV	[min]	[min]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]
150	27.09	20.25	545.55	588.37	203.85	184.73
151	27.23	19.99	544.38	622.71	203.62	220.49
362	27.34	20.75	533.50	539.68	205.66	156.39
363	27.22	22.04	532.79	478.67	205.46	109.82
380	26.79	19.31	544.56	631.97	212.06	267.34

Tab. 31 – hodnoty jízdních dob a spotřeby energie pro vlak Ex 140 (1. TK, CT-Z)

	Jízdní doby		Spotřeba trakční energie		Spotřeba brzděné energie	
	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať
Řada HV	[min]	[min]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]
150	27.58	19.63	207.53	209.97	138.58	107.23
151	27.65	19.13	204.99	254.06	137.46	147.82
362	27.73	19.77	202.25	187.09	142.35	105.59
363	27.68	21.48	204.01	139.92	143.63	61.52
380	27.40	18.94	206.09	246.41	142.07	160.85

Tab. 32 – hodnoty jízdních dob a spotřeby energie pro vlak Ex 140 (2. TK, Z-CT)

	Jízdní doby		Spotřeba trakční energie		Spotřeba brzděné energie	
	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať
Řada HV	[min]	[min]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]
150	26.51	19.53	343.14	390.00	118.27	103.59
151	26.57	19.07	343.62	426.20	118.91	147.83
362	26.62	19.72	328.89	363.30	115.56	105.82
363	26.56	21.41	329.25	304.92	115.92	61.38
380	26.37	18.79	335.68	405.18	119.30	150.72

Tab. 33 – hodnoty jízdních dob a spotřeby energie pro vlak Nk (1. TK, CT-Z)

	Jízdní doby		Spotřeba trakční energie		Spotřeba brzděné energie	
	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať
Řada HV	[min]	[min]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]
363	31.08	24.83	567.049	436.147	464.114	291.865
380	29.64	23.05	665.22	508.461	517.227	292.619

Tab. 34 – hodnoty jízdních dob a spotřeby energie pro vlak Nk (2. TK, Z-CT)

	Jízdní doby		Spotřeba trakční energie		Spotřeba brzděné energie	
	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať
Řada HV	[min]	[min]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]
363	29.83	26.01	1046.96	937.83	366.264	222.93
380	28.20	23.27	1172.48	1053.29	484.892	291.908

Tab. 35 – hodnoty jízdních dob a spotřeby energie pro vlak Nu (1. TK, CT-Z)

	Jízdní doby		Spotřeba trakční energie		Spotřeba brzděné energie	
	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať
Řada HV	[min]	[min]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]
363	33.71	30.22	522.607	361.032	347.556	144.805
380	32.17	28.80	591.146	379.469	378.436	144.859

Tab. 36 – hodnoty jízdních dob a spotřeby energie pro vlak Nu (2. TK, Z-CT)

	Jízdní doby		Spotřeba trakční energie		Spotřeba brzděné energie	
	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať	Stará trať	Nová trať
Řada HV	[min]	[min]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]	[kW.h]
363	31.98	30.82	1024.46	944.855	210.024	145.762
380	30.82	29.15	1078.49	967.883	265.145	144.945