

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Posouzení variant vysokorychlostní trati v úseku
Hradec Králové – státní hranice

Bc. Peter Mišek

Diplomová práce

2021

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Peter Mišek**
Osobní číslo: **D19394**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Technologie a řízení dopravy**
Téma práce: **Posouzení variant vysokorychlostní trati v úseku Hradec Králové
– státní hranice**
Zadávací katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

Zásady pro vypracování

Úvod

1. Analýza zadaného území a vstupních variant dopravní infrastruktury
2. Návrh dopravního řešení ve variantách
3. Zhodnocení variant

Závěr

Rozsah pracovní zprávy: **50 – 60**
Rozsah grafických prací: **5-6**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

DRDLA, Pavel. Osobní doprava regionálního a nadregionálního významu. 2. upravené vydání. Pardubice : Polygrafické středisko Univerzity Pardubice, 2018. 420 s. ISBN 978-80-7560-189-6
International Union of Railway (UIC). DESIGN OF NEW LINES FOR SPEEDS OF 300 – 350 KM/H STATE OF THE ART. 2017. ISBN 978-2-7461-2608-4.
Správa železnic s.o., Interní dokumenty k UTS_RS5. Praha: Správa železnic, s.o., 2020.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Nachtigall, Ph.D.**
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání diplomové práce: **1. února 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

L.S.

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

doc. Ing. Jaromír Široký, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 1. února 2021

Prohlašuji:

Práci s názvem Posouzení variant vysokorychlostní trati v úseku Hradec Králové – státní hranice jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

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

V Pardubicích dne 14.5.2021

Bc. Peter Mišek

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Nachtigalovi Ph.D za poskytnuté materiály ke zpracování, cenné rady, doporučení a připomínky při vedení této práce.

Rovněž bych rád poděkoval panu Ing. Janu Janouškovi ze SŽ s.o. za poskytnuté materiály a informace ke zpracování a Bc. Františkovi Sládkovi za pomoc u simulačního modelu.

ANOTACE

Diplomová práce analyzuje varianty vysokorychlostní trati VRT/RS 5 v úseku Hradec Králové – státní hranice, navrhuje dopravní opatření simulací jízd elektrických jednotek, ze kterých stanoví vstupy do metod pro zhodnocení variant.

KLÍČOVÁ SLOVA

VRT/RS 5, vysokorychlostní trať, železnice, varianty Hradec Králové – státní hranice

TITLE

Assessment of high-speed line variants in the section Hradec Králové - state border CZ / PL

ANNOTATION

The diploma thesis analyzes variants of the high-speed VRT / RS 5 line in the section Hradec Králové - state border, proposes traffic measures by simulating the journeys of electric trains, from which it determines the inputs to the methods for evaluating variants.

KEYWORDS

VRT / RS 5, high-speed line, railway, variants Hradec Králové - state border

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	- 8 -
SEZNAM TABULEK	- 10 -
ÚVOD	- 12 -
1 POPIS ÚZEMÍ TRASY VYSOKORYCHLOSTNÍ TRATĚ	- 13 -
1.1 DEMOGRAFIE ÚZEMÍ TRASY VRT	- 13 -
1.2 POSOUZENÍ PŘÍNOSU TRASY VRT	- 17 -
2 ANALÝZA VARIANT VEDENÍ VRT	- 19 -
2.1 VARIANTA TU1	- 19 -
2.2 VARIANTA TU2	- 22 -
2.3 VARIANTA TU3	- 24 -
2.4 VARIANTA TU4	- 26 -
2.5 VARIANTA TU5	- 27 -
2.6 VARIANTA TU6	- 32 -
2.7 VARIANTA TU7	- 35 -
2.8 ZÁKLADNÍ ÚDAJE VARIANT	- 38 -
3 NÁVRH DOPRAVNÍHO ŘEŠENÍ VE VARIANTÁCH	- 44 -
3.1 VOZIDLA PRO SIMULACI A JEJICH PARAMETRY	- 44 -
3.2 VÝBĚR VARIANT PRO SIMULACI A JEJICH PARAMETRY	- 47 -
3.3 SIMULAČNÍ MODEL	- 51 -
3.4 VÝSTUPY ZE SIMULAČNÍHO MODELU – PRŮBĚH JÍZDY	- 55 -
3.5 VÝSTUPY ZE SIMULAČNÍHO MODELU – JÍZDNÍ DOBY	- 69 -
4 ZHODNOCENÍ VARIANT	- 71 -
4.1 METODA VÁŽENÉHO SOUČTU	- 71 -
4.2 METODA TOPSIS	- 72 -
4.3 VSTUPNÍ ÚDAJE PRO VÝPOČET	- 73 -
4.4 VÝSTUPNÍ ÚDAJE Z METOD	- 74 -
ZÁVĚR	- 77 -
SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	- 79 -
SEZNAM PŘÍLOH	- 81 -

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Grafický vývoj počtu obyvatel v Praze	- 13 -
Obrázek 2: Grafický vývoj počtu obyvatel Středočeského kraje	- 14 -
Obrázek 3: Grafický vývoj počtu obyvatel Královehradeckého kraje	- 15 -
Obrázek 4: Grafický vývoj počtu obyvatel v Pardubickém kraji	- 16 -
Obrázek 5: Počet obyvatel největších měst zúčastněných na VRT	- 16 -
Obrázek 6: Oblast dojezdu 30 a 60 minut od metropolí - varianta vedení přes HK i LBC	- 18 -
Obrázek 7: Zapojení sjezdu do tratě 031- varianta TU1.....	- 20 -
Obrázek 8: Sjezd do Trutnova - varianta TU1.....	- 22 -
Obrázek 9: Sjezd do Trutnova - varianta TU2.....	- 24 -
Obrázek 10: Sjezd do Trutnova - varianta TU3	- 26 -
Obrázek 11: Sjezd do Trutnova - varianta TU4	- 27 -
Obrázek 12: Umístění navrženého terminálu VRT Hradec Králové.....	- 28 -
Obrázek 13: Navržené sjezdy do stanice Hradec Králové – Terminál – varianta TU5.....	- 29 -
Obrázek 14: Trasa sjezdu ve variantách Jaroměř 1 a Jaroměř 2	- 30 -
Obrázek 15: Napojení tratě z Jaroměře.....	- 32 -
Obrázek 16: Sjezd do Trutnova - varianta TU6	- 34 -
Obrázek 17: Sjezd do Trutnova - varianta TU6alt	- 35 -
Obrázek 18: Vedení trasy ve variantách TU7 a TU7Koc.....	- 36 -
Obrázek 19: Sjezd do Trutnova ve variantách TU7 a TU7alt	- 37 -
Obrázek 20: Investiční náklady variant.....	- 42 -
Obrázek 21: Měrné náklady ve variantách	- 43 -
Obrázek 22: Graf trakční charakteristiky el. jednotky řady 680.....	- 44 -
Obrázek 23: Graf trakční charakteristiky el. jednotky railjet	- 45 -
Obrázek 24: Graf trakční charakteristiky el. jednotky ICE 3.....	- 46 -
Obrázek 25: Graf průběhu sklonu ve variantě TU1a začátek - konec úseku.....	- 47 -
Obrázek 26: Graf průběhu sklonu ve variantě TU1b začátek - konec úseku.....	- 48 -
Obrázek 27: Graf průběhu sklonu ve variantě TU1b-alt HK - konec úseku	- 48 -
Obrázek 28: Graf průběhu sklonu ve variantě TU5 začátek - konec úseku.....	- 49 -
Obrázek 29: Graf průběhu sklonu ve variantě TU6 začátek - konec úseku.....	- 50 -
Obrázek 30: Graf průběhu sklonu ve variantě TU7 začátek - konec úseku.....	- 50 -
Obrázek 31: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1a v úseku HK – hranice	- 55 -
Obrázek 32: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1a v úseku začátek – hranice.....	- 56 -

Obrázek 33: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1b v úseku HK – hranice.....	- 57 -
Obrázek 34: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU1b v úseku začátek - hranice.....	- 59 -
Obrázek 35: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU1b-alt v úseku HK – hranice.....	- 60 -
Obrázek 36: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU5 v úseku HK – hranice.....	- 61 -
Obrázek 37: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU5 v úseku začátek – hranice.....	- 63 -
Obrázek 38: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU6 v úseku HK – hranice.....	- 64 -
Obrázek 39: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU6 v úseku začátek – hranice.....	- 65 -
Obrázek 40: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU7 v úseku HK – hranice.....	- 67 -
Obrázek 41: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU7 v úseku začátek – hranice.....	- 68 -

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Základní údaje o variantách	- 38 -
Tabulka 2: Napojení měst a tratí na hlavní trasu VRT/RS5.....	- 39 -
Tabulka 3: Ekonomické zhodnocení variant	- 41 -
Tabulka 4: Vstupní parametry el. jednotky ř.680.....	- 44 -
Tabulka 5: Vstupní parametry elektrické netrakovní jednotky railjet.....	- 45 -
Tabulka 6: Vstupní parametry el. jednotky ICE 3	- 46 -
Tabulka 7: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU1a úsek HK - hranice a opačně.....	- 56 -
Tabulka 8: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU1a úsek začátek – hranice a opačně.....	- 57 -
Tabulka 9: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU1b úsek HK – hranice a opačně.....	- 58 -
Tabulka 10: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU1b úsek začátek – hranice a opačně.....	- 59 -
Tabulka 11: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU1b-alt úsek HK – hranice a opačně.....	- 61 -
Tabulka 12: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU5 úsek HK – hranice a opačně.....	- 62 -
Tabulka 13: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU5 úsek začátek – hranice a opačně.....	- 63 -
Tabulka 14: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU6 úsek HK – hranice a opačně.....	- 65 -
Tabulka 15: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU6 úsek začátek - hranice.....	- 66 -
Tabulka 16: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU7 úsek HK – hranice a opačně.....	- 67 -
Tabulka 17: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU7 úsek začátek – hranice a opačně.....	- 69 -
Tabulka 18: Jízdní doby variant ze simulačního modelu.....	- 69 -
Tabulka 19: Zhodnocení všech variant metodami váženého součtu a TOPSIS	- 74 -
Tabulka 20: Zhodnocení variant vedených přechodem u obce Královec metodami váženého součtu a TOPSIS	- 75 -
Tabulka 21: Zhodnocení variant vedených přechodem u obce Petříkovice metodami váženého součtu a TOPSIS	- 76 -

SEZNAM ZKRATEK

HK	Hradec Králové
Kč	Koruna česká
Km	kilometr
mil.	Miliony
Odb.	Odbočka
rj	railjet
RS	Rychlé spojení
VRT	Vysokorychlostní trať
Výh.	Výhybna
žst.	Železniční stanice

ÚVOD

Přípravu vysokorychlostní železnice v ČR – systému Rychlých spojení schválila vláda České republiky usnesením č.389 o Programu rozvoje rychlých železničních spojení v České republice z 22. května 2017. VRT jsou součástí transevropské dopravní sítě TEN-T, do evropské vysokorychlostní sítě patří spojovací rekonstruované tratě pro rychlost do 200 km/h a novostavby tratí s minimální rychlostí 250 km/h (19).

V České republice jsou připravovány RS1 VRT Praha – Brno – Ostrava, RS2 VRT Brno – Šakvice, RS4 VRT Praha – Ústí nad Labem – Dresden (odb. Bříza – Most) a RS5 VRT Praha – Hradec Králové – Wrocław. Autor práce se zabývá RS5, která je rozdělena do tří úseků – úsek trasy PV1 (výjezd z žst. Praha-Běchovice), respektive alternativou PV2 (výjezd z žst. Praha-Zahradní Město), úsek tras HK1-6 navazující na PV1/2 za výh. Vykáň a úsek tras TU 1-7 navazujících na HK1-6 v oblasti Hradce Králové. Na mapě v příloze 12 jsou pro lepší orientaci tyto úseky zobrazeny. Autor se v práci zabývá variantami TU, vedoucími do státní hranice (13).

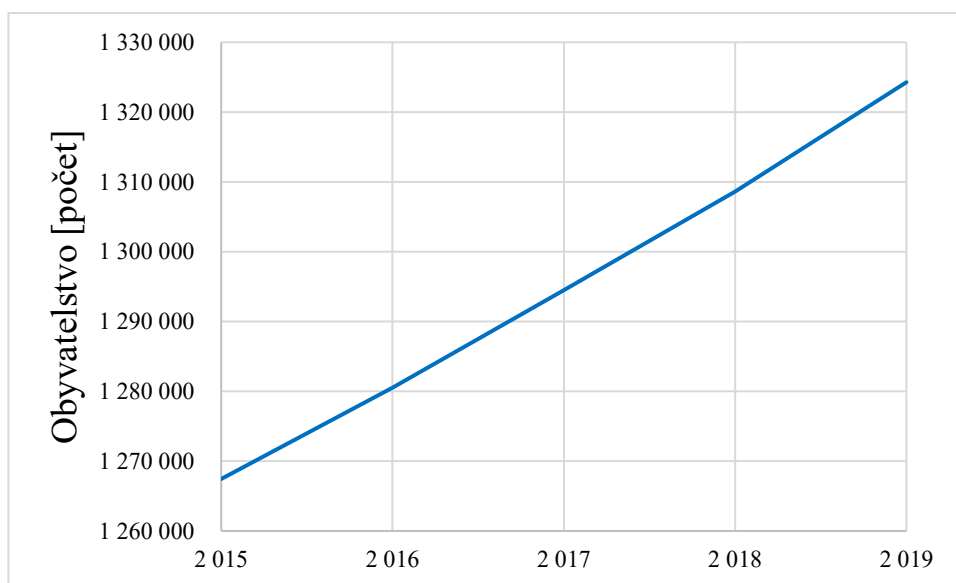
Cílem práce je popsat území vedení VRT/RS5 a analyzovat varianty vedení trasy v úseku Hradec Králové – státní hranice CZ/PL, navrhnout dopravní řešení simulací, včetně zjištění potřebných charakteristik jednotlivých variant k jejich zhodnocení a jejich samotné zhodnocení.

1 POPIS ÚZEMÍ TRASY VYSOKORYCHLOSTNÍ TRATĚ

Trasování vysokorychlostní trati RS5 pro variantu Praha – Hradec Králové – (Wroclaw) vede přes tři kraje s odbočkou do čtvrtého. Kraje zapojené do vedení VRT je hlavní město Praha, Středočeský a Královehradecký, odbočná větev vede do kraje Pardubického. Z pohledu obsluhy území má toho rychlé spojení mezinárodní účel pro zajištění expresní linky Praha – Wroclaw (-Warszawa), které současně zajišťuje vnitrostátní rychlé spojení Prahy s Hradcem Králové. Z pohledu vnitrostátního účelu rychlé spojení má zajistit dálková linka Praha – Trutnov/Náchod, která současně zajišťuje rychlé regionální spojení Hradec Králové – Trutnov. Na vysokorychlostní trať je rovněž možnost převedení expresního spojení v úseku Praha – Pardubice (1).

1.1 DEMOGRAFIE ÚZEMÍ TRASY VRT

Kraj hlavní město Praha je z hlediska počtu obyvatel nejpočetnější a čítá celkově 1 325 280 obyvatel, což představuje více než 12 % z celkového počtu obyvatel České republiky na rozloze 496 m² (2). Praha v současné době představuje vzhledem k demografické poloze důležitý mezinárodní železniční uzel, přičemž takovýmto uzlem bude nadále i po výstavbě VRT, vzhledem k tomu, že přes Prahu jsou vedeny všechny trasy RS.

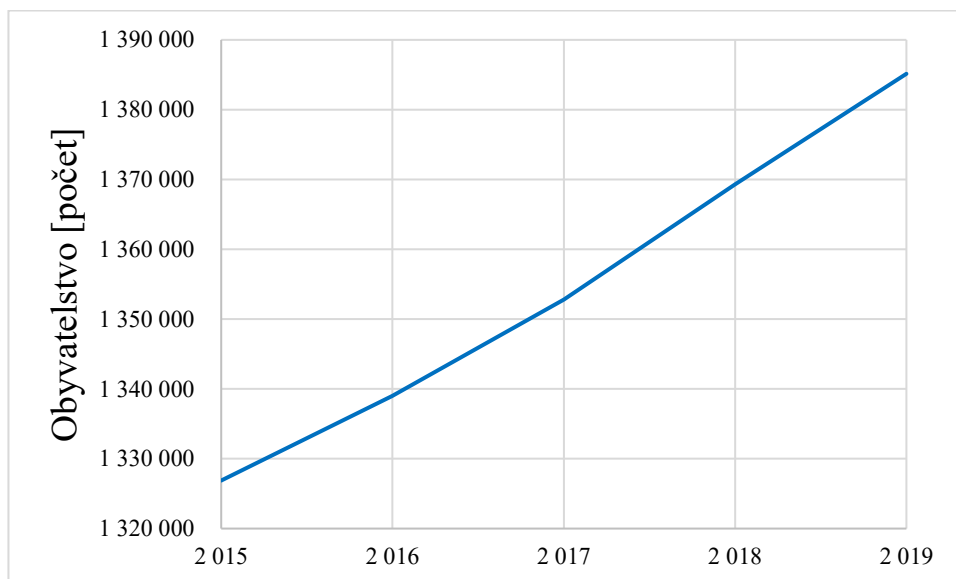


Obrázek 1: Grafický vývoj počtu obyvatel v Praze

Zdroj: Autor na podkladě (2)

Na grafu na obrázku 1 je znázorněn vývoj počtu obyvatel v Praze. Dle grafu lze usoudit, že v Praze dochází v posledních pěti letech k trvalému nárůstu počtu obyvatel meziročně přibližně o 1 %, což představuje kolem 14 000 obyvatel.

Z pohledu Středočeského kraje je nejdůležitější východní část vzhledem k trasování VRT. V okrese Praha-východ u městyse Nehvizdy je plánováno s výstavbou terminálu s totožným názvem, přičemž tento terminál má za účel sloužit především pro přestup na trasu RS1 (Praha – Brno) a příměstských linek pro obsluhu této části. V tomto kraji dle plánu je možnost vybudování terminálu VRT Poděbrady. Celkový počet obyvatel ve Středočeském kraji činí 1 385 141 na rozloze 10 928 km² (3), přičemž velikostí, počtem obcí i obyvatel se jedná o největší kraj České republiky. Středočeský kraj obklopuje hlavní město Prahu, což ovlivňuje jeho ekonomickou a dopravní charakteristiku. Z pohledu okresů, přímo spadajících do působnosti obsluhy terminálů Praha – východ a Poděbrady lze označit okresy Praha – východ, Kolín a Nymburk, avšak vzhledem k poloze Středočeského kraje lze říct, že celý tento kraj bude obsluhován buď terminály v Praze či Poděbradech (4).



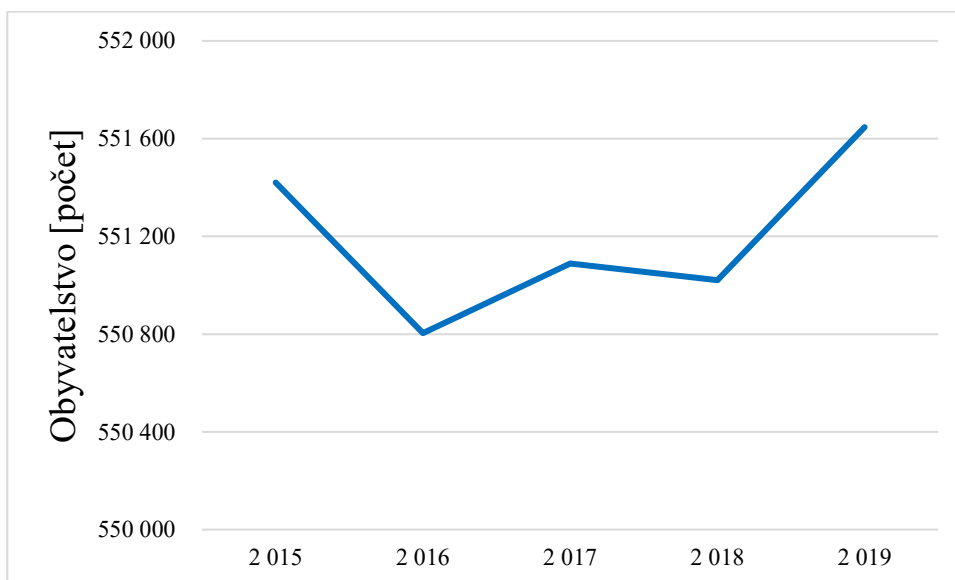
Obrázek 2: Grafický vývoj počtu obyvatel Středočeského kraje

Zdroj: Autor na podkladě (4)

Na grafu na obrázku 2 je uveden vývoj počtu obyvatel Středočeského kraje, dle kterého lze usoudit, že tento počet obyvatel má v letech rostoucí tendenci. Meziročně se jedná přibližně o jedno procento, což představuje kolem 13 000 obyvatel.

Královehradecký kraj lze z vnitrostátního pohledu obsluhy území považovat pro vedení této VRT za nejdůležitější. Z turistického hlediska lze zmínit především pohoří Krkonoše a Orlických hor, rozkládajících se na severovýchodě kraje, pro jejichž obsluhu může být vedeno dálkové spojení Praha – Hradec Králové – Trutnov (-Pec pod Sněžkou). Kraj je rozdělen do pěti okresů – Hradec Králové, Jičín, Náchod, Trutnov a Rychnov nad Kněžnou. Z pohledu obsluhy území je přímo na trati uvažováno s terminálem Hradec Králové, přičemž

toto město má celkem 92 939 obyvatel a řadí se do 8. největšího v České republice. Charakteristika Královehradeckého kraje je zemědělsko-průmyslová s rozvinutým cestovním ruchem, přičemž největší koncentrací v České republice se vyznačují právě Krkonoše. V současné době celkový počet obyvatel v Královehradeckém kraji činí 551 647 na rozloze 4 759 km² (5). což představuje 5,2 % z celkového počtu obyvatel České republiky (6).

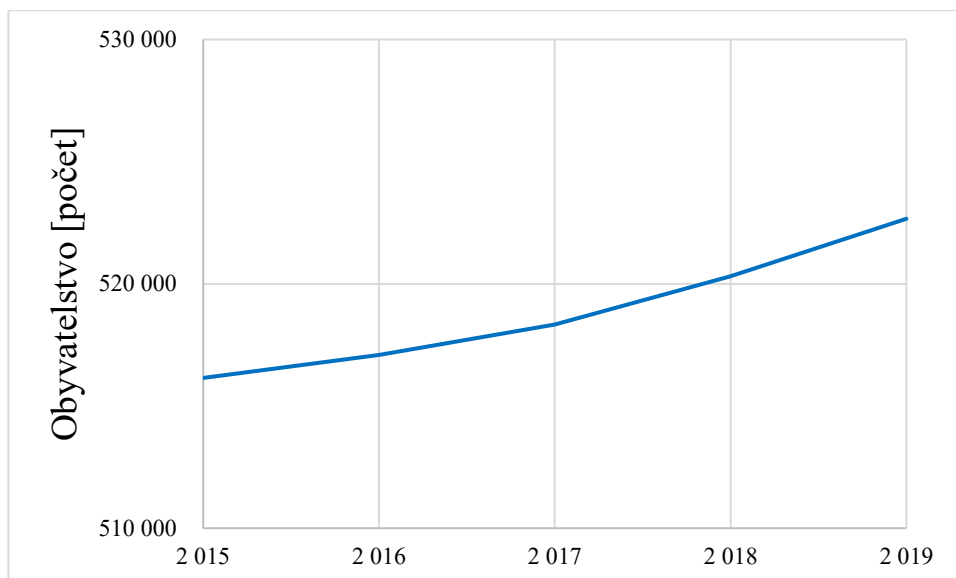


Obrázek 3: Grafický vývoj počtu obyvatel Královehradeckého kraje

Zdroj: Autor na podkladě (6)

Na grafu na obrázku 3 je znázorněn vývoj počtu obyvatel v Královehradeckém kraji. Dle grafu lze usoudit, že v posledních 5 letech dochází jen k velice mírným hodnotám nárůstu či poklesu v řádech stovek obyvatel a tím lze charakterizovat počet obyvatel za téměř konstantní.

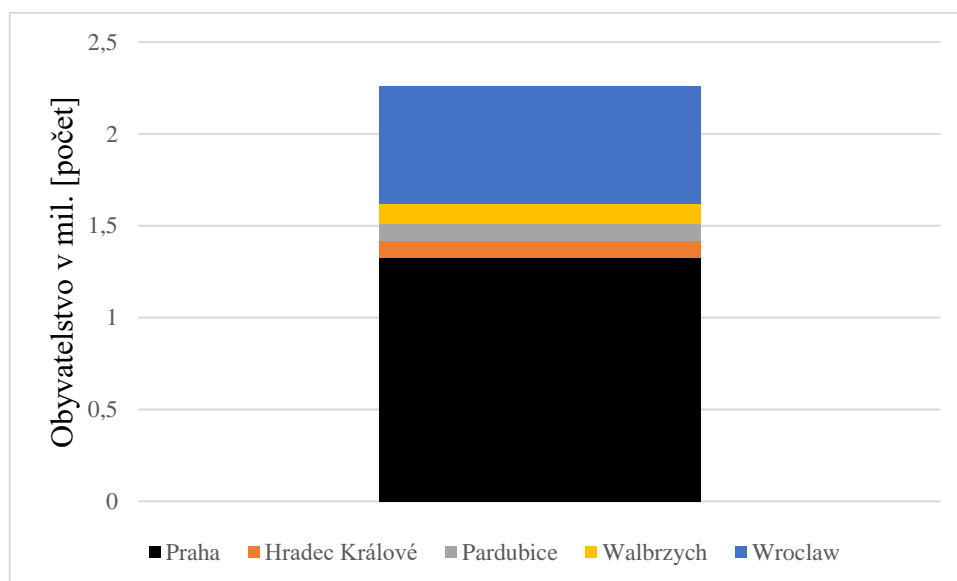
Vzhledem k plánované odbočce (sjezdu) z hlavní trati do města Pardubice je tak i Pardubický kraj zapojen do linkového vedení trasy na tomto RS. Kraj byl historicky složen ze čtyř okresů – Pardubice, Chrudim, Svitavy a Ústí nad Orlicí. Krajské město Pardubice má v současné době 91 727 obyvatel, což jej zařazuje na 10. místo měst s největším počtem obyvatel. V současné době z dopravního hlediska má největší vliv železniční doprava. Tímto krajem prochází 542 km tratí, včetně I. tranzitního koridoru (7).



Obrázek 4: Grafický vývoj počtu obyvatel v Pardubickém kraji

Zdroj: Autor na podkladě (8)

Na obrázku 4 je uveden graf vývoje počtu obyvatel v Pardubickém kraji. Dle grafu lze uvést, že v tomto kraji dochází ke stálému růstu počtu obyvatel, meziročně se jedná přibližně 0,3 %.



Obrázek 5: Počet obyvatel největších měst zúčastněných na VRT

Zdroj: Autor na podkladě (1)

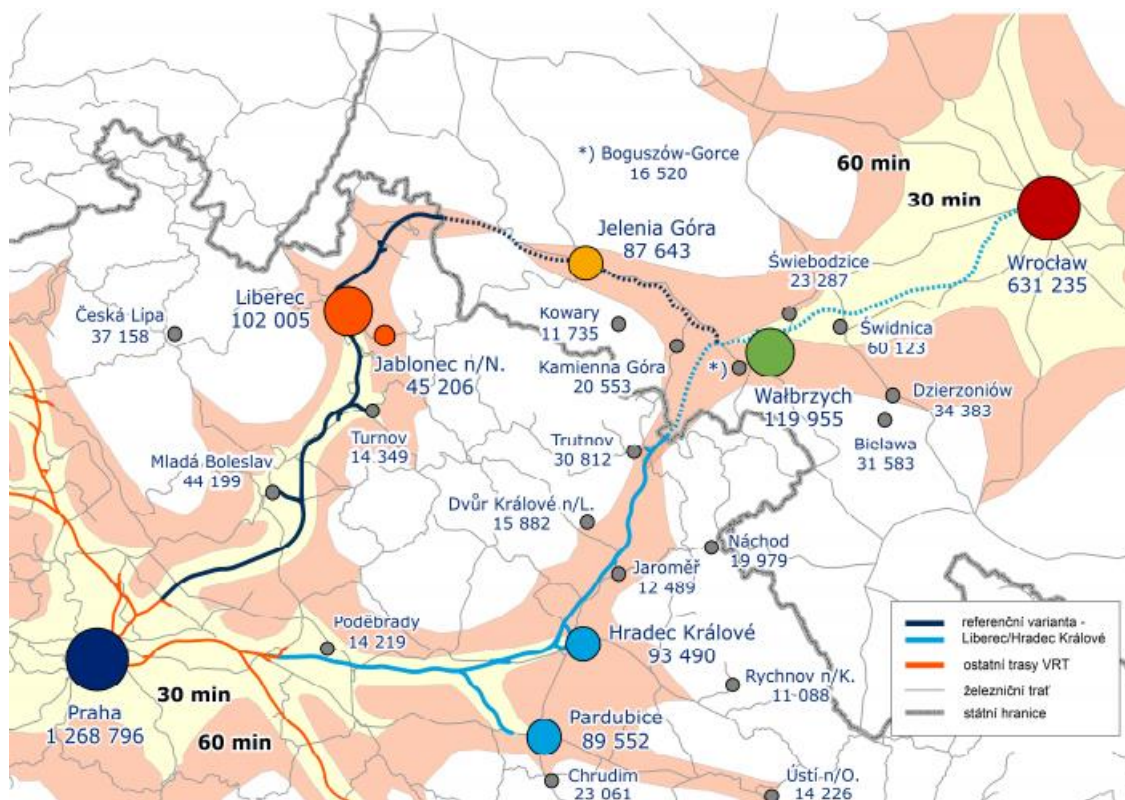
Na grafu na obrázku 5 je znázorněn počet obyvatel největších měst, přímo zúčastněných na tomto RS. Dle grafu lze poznamenat, že z celkového součtu 2,250 milionu mají největší podíl města Praha a Wroclaw. Při makro pohledu, čili z pohledu všech krajů zúčastněných na tomto RS činí celkový počet obyvatel 7,6 milionů.

1.2 POSOUZENÍ PŘÍNOSU TRASY VRT

Prezentovat přínos mezinárodního spojení lze provést expresními vlaky na relaci Praha – Wrocław, respektive Praha – Warszawa. Nyní v relaci Praha – Wrocław je železniční spojení vzhledem ke stávající trati, především na polské straně velmi špatně konkurenceschopné. Stávající trasa je vedena po koridorové trase Praha – Ústí nad Orlicí, následně v úseku Ústí nad Orlicí – Lichkov. Ta znamená jízdní dobu 280 minut. Toto spojení zajišťuje dopravce LeoExpress jako přímé, potažmo dopravce České dráhy se dvěma přestupy. Dle konceptu variant vedení VRT by jízdní doba měla být výhledově na úrovni 95 – 97 minut včetně zastavení v terminálech Hradec Králové a Walbrzych, respektive na úrovni 71 – 86 minut bez zastavení ve zmíněných terminálech VRT, což představuje zkrácení jízdní doby na úrovni téměř 180 minut včetně zastavení a 200 minut bez zastavení ve zmíněných terminálech (1). Jízdní doba individuální automobilové dopravy pro úsek Praha – Wrocław aktuálně činí 250 minut (11). Ve výhledu je dokončení výstavby dálnice D11 s napojením na polskou rychlostní silnici S3. Momentálně je v provozu 91 km, v úseku od Prahy do Hradce Králové, 22 km ve výstavbě v úseku Hradec Králové – Jaroměř a v přípravě dalších 41 km pro úsek Jaroměř – Trutnov – Královec (státní hranice Polska). Dokončení této celé stavby je plánováno v roce 2027. Ve výhledu je uvažováno s jízdní dobou po této dálnici s napojením na rychlostní silnici S3 180 minut, což představuje zkrácení jízdní doby o 70 minut (1), (9).

Z globálního hlediska propojení hlavních měst České republiky a Polska, čili relace Praha – Warszawa je v železniční dopravě vedena po koridorové trase Praha – Ostrava – Bohumín (- Katowice). Jízdní doba tohoto spojení momentálně činí 480 minut, přičemž je provedeno jako přímé dopravcem České dráhy, respektive PKP. V Polsku je počítáno z výstavbou vysokorychlostní tratě, takzvané „Linie Y“, spojující města Warszawa - Łódź – Wrocław/Poznań (rozdělení směrování). V případě výstavby je výhledově počítáno s jízdní dobou v této relaci přes město Wrocław 180 minut, což představuje zkrácení jízdní doby o 300 minut. V této relaci je rovněž konkurencí doprava letecká, u níž existují přímá spojení. Zde je uvažován cestovní čas 180 minut, jenž je složen z jízdní doby, předpokládaného odbavení 60 minut a prosloužené cesty na a z letiště 30 minut. V případě individuální automobilové dopravy aktuální jízdní doba je na úrovni 400 minut, přičemž trasa je vedena přes město Wrocław, což znamená, že při již zmíněných změnách na dálnici, respektive rychlostní silnici je možné zkrácení na 330 minut (1),(10).

Kromě přínosu mezinárodního je rovněž důležitá vnitrostátní obsluha regionů. Ta lze znázornit pomocí mapy oblasti dojezdových časů 30, respektive 60 minut.



Obrázek 6: Oblast dojezdu 30 a 60 minut od metropolí - varianta vedení přes HK i LBC

Zdroj: (1)

Na obrázku 6 je zobrazena mapa oblastí dojezdu 30 a 60 minut od metropolí po výstavbě navrhované VRT. Pro samotnou práci je důležitá varianta vedení přes Hradec Králové. Z mapy je zřejmé, že dle konceptu je důležitý dojezdový čas do Hradce Králové a Pardubic do 30 minut z Prahy. V pásmu dojezdu do 60 minut od Prahy by měla být větší města jako Chrudim, Ústí nad Orlicí, Jaroměř a Trutnov. Relativně v těsné blízkosti za hranici tohoto pásma se nachází významná sídla jako Náchod, Rychnov nad Kněžnou či Česká Třebová.

V dnešní době (k listopadu 2020) je relace Praha – Hradec Králové propojena přímou rychlíkovou linkou R 10 (Praha – Trutnov). Tato linka je trasována přes Poděbrady, Hradec Králové a Jaroměř. Jízdní doba Praha – Hradec Králové touto linkou činí 100 minut, Praha – Jaroměř 130 minut a Praha – Trutnov 190 minut. Důvodem delší jízdní doby mezi Hradcem Králové a Jaroměří je nutnost výměny hnacího vozidla elektrické trakce. V případě veřejné linkové dopravy činí jízdní doba mezi Prahou a Hradcem Králové 75 minut, Prahou a Jaroměří 100 minut a Prahou a Trutnovem 130 minut (11). Kratší jízdní doby jsou zapříčiněny vedením veřejné linkové dopravy dálnicí D11, přičemž, jak již bylo zmíněno v kapitole 1.2., je v plánu její dostavba až do Trutnova a k hranicím s Polskem.

2 ANALÝZA VARIANT VEDENÍ VRT

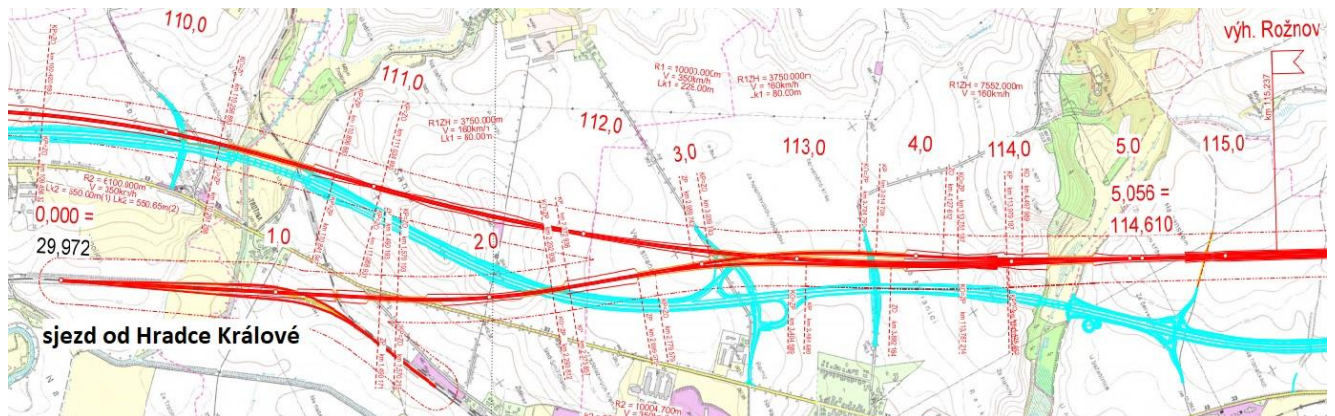
V této kapitole autor analyzuje varianty vedení VRT/RS 5, které jsou již navrženy. Tu provádí z dokumentu Vyhledávací studie VRT/RS5 Praha-Hradec Králové/Liberec – státní hranice CZ/PL, jehož zhotovitel je SUDOP PRAHA, a.s. pro zadavatele Správu železnic, státní organizaci (13). Dokument je složen z textové a výkresové části, přičemž v textové části jsou souhrnné zprávy hodnocení variant, technicko-technologická řešení variant, propočet investiční náročnosti variant a dopady tras na území. Ve výkresové části jsou souhrnné situační výkresy tras, podélné profily a situační schémata dopraven.

Pro úsek vedení VRT Hradec Králové – státní hranice Polska jsou všechny varianty označeny písmeny TU. Koridor všech variant je veden západně od města Hradce Králové a dále směřuje severovýchodním směrem, v blízkosti chystané dálnice D11. Od počátku první části úseku TU až po Jaroměř má trasa rovinný terén, v oblasti Smiřic je ve variantách navrhnut sjezd pro propojení se stávající tratí Hradec Králové – Jaroměř, který by umožnil propojení Hradce Králové s VRT ve směru na Polsko. Druhá část úseku variant TU, tj. Jaroměř – státní hranice Polska má trasa vedení VRT složitější kopcovitý terén. Návrh trasování má 7 základních variant TU1 – TU7, které jsou rozděleny do několika podvariant, označenými indexy písmen. Tyto varianty se liší především sklonovými poměry a možnostmi zapojení do dalších měst, respektive tratí. Pro varianty TU1 – TU5 návrhová rychlost činí 350 km/h, pro TU6 je návrhová rychlost 250 km/h a pro TU7 je návrhová rychlost 200 km/h.

2.1 VARIANTA TU1

Trasování u varianty TU1 začíná v km 96,000 za výhybnou Býřov. V kilometru 115,237 je navržena výhybna Rožnov. Tato výhybna slouží k mimoúrovňovému napojení na dvoukolejnou trať Hradec Králové – Jaroměř (označení 031). Toto propojení je navrženo na

rychlost 160 km/h s maximálním podélným sklonem 15 ‰. Tento sjezd, včetně výhybny Rožnov je zobrazen na mapě na obrázku 7.



Obrázek 7: Zapojení sjezdu do tratě 031- varianta TU1

Zdroj: (13) s úpravou autorem

Za výhybnou Rožnov je trasování severním směrem a v blízkosti Kuksu překračuje údolí Labe 775 metrů dlouhou estakádou, za kterou následuje 1 300 metrů dlouhý dvoukolejný tunel Kuks. Další úsek trasování do Trutnova je veden kopcovitým terénem, to má za vznik tří variant, které mají totožné směřování, ale jiné výškové vedení, což má za následek rozdílnost podélných sklonů, které mají vliv na jízdu kolejových vozidel, což je problematika, kterou se autor bude zabývat v návrhové části:

- varianta TU1a – maximální podélný sklon 12,5 ‰, bez odbočky Strítěž, což znamená bez napojení Trutnova, s výhybnou Mravenčí Vrch
- varianta TU1b – maximální podélný sklon 20 ‰, s odbočkou Strítěž – s napojením Trutnova, s výhybnou Mravenčí Vrch
- varianta TU1b-alt – maximální podélný sklon 35 ‰, s odbočkou Strítěž – s napojením Trutnova, bez výhybny Mravenčí Vrch.

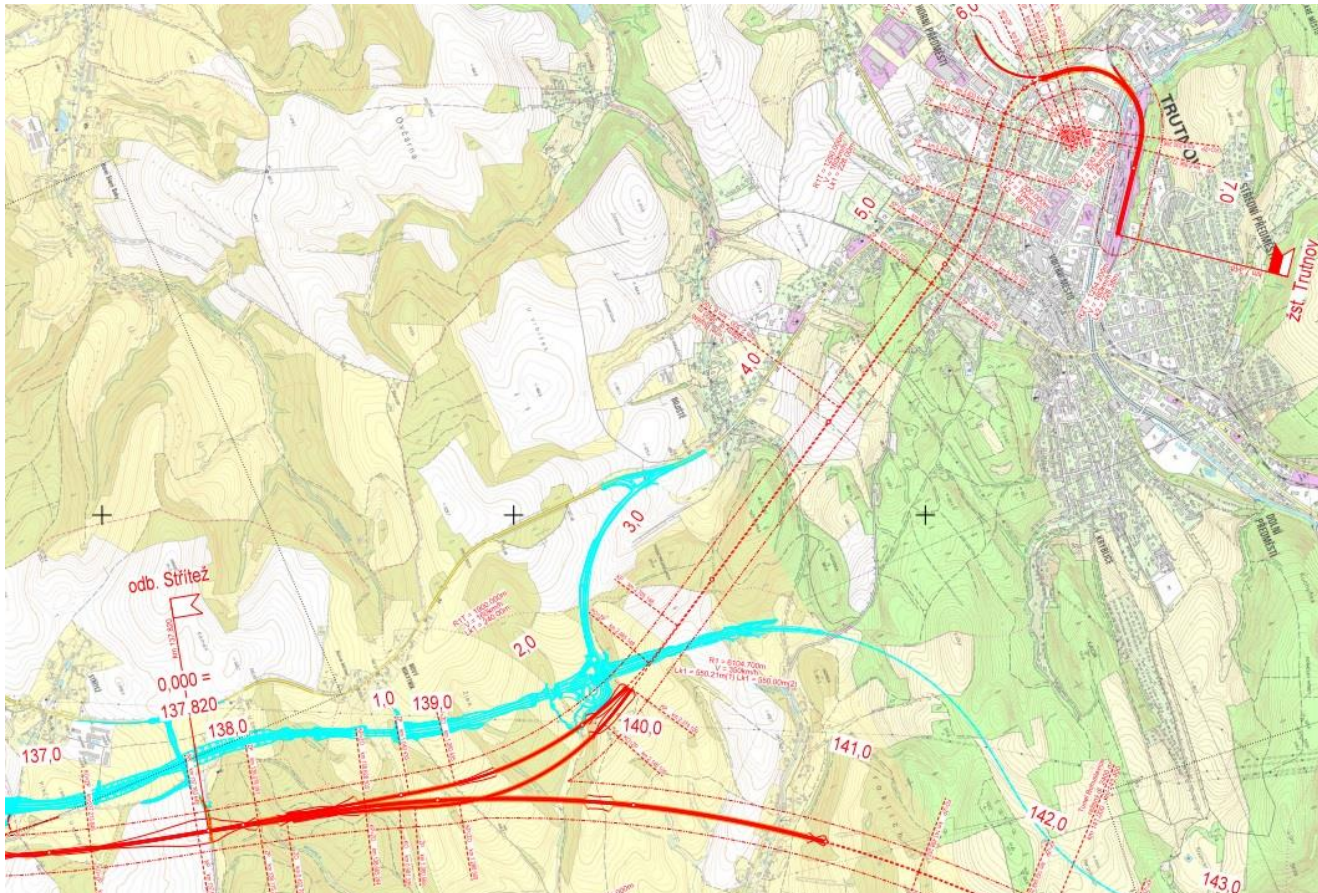
Ve variantě TU1a je trasa vedena za tunelem Kuks po estakádě a následně je zaústěna v km 127,2 do 16 150 metrů dlouhého dvoukolejného tunelu Království s navrhovaným sklonem 12,5 ‰. Vlivem tohoto dlouhého tunelu není v této variantě navržen sjezd do Trutnova, čili ani odbočka. V km 143,350 trasa ústí z tunelu a je dále vedena směrem pod Královecký Špičák. V kilometru 156,300 je navržena výhybna Mravenčí Vrch. Vzhledem k náročnosti území je trasa vedena především po umělých stavbách – až 28,200 kilometrů, délka tunelů činí 25 525 metrů a délka mostů a estakád 1 620 metrů. Autor zjišťuje, že v této variantě je nejmenší hodnota podélného sklonu, vlivem velkého užití umělých staveb, což je

kvantitativní údaj pro návrhovou část, který by měl představovat lepší jízdní charakteristiky vozidel.

Ve variantě TU1b stejně jako u TU1a trasa ústí do dvoukolejného tunelu Království, který je na rozdíl od varianty TU1a o délce 8 900 metrů s navrhovaným podélným sklonem 20 ‰ a slouží k překonání kopcovitého terénu ve směru Trutnov. V kilometru trasy 137,820 je navržena odbočka Střítež, ze které je veden sjezd do Trutnova. Ten je navržen na rychlost 160 km/h s maximálním podélným sklonem 20 ‰ a veden přímo do žst. Trutnov v dvoukolejném tunelu s napojením na stávající trať. Dále trasa vede ve stejné stopě, jako TU1a pod Královecký Špičák, včetně výhybny Mravenčí Vrch. Vzhledem k náročnosti území je trasa vedena především po umělých stavbách – až 16,800 kilometrů, délka tunelů činí 12 055 metrů a délka mostů a estakád 3 250 metrů. Autor zjišťuje, že na rozdíl od varianty TU1a je varianta TU1b méně vedena po umělých stavbách, což představuje větší hodnotu podélného sklonu, což je kvantitativní údaj pro návrhovou část.

Ve variantě TU1b-alt vedení trasy totožné s variantou TU1b a to i včetně navržené odbočky Střítež a sjezdu do Trutnova. Ke změně dochází v kilometru 143,500, kde je navrženo výškové vedení s maximálním podélným sklonem 35 ‰. Vzhledem k lomu sklonů v této variantě není navržena výhybna Mravenčí Vrch. Po umělých stavbách je vedeno 17,5 kilometru tratě, délka tunelů činí 7 530 metrů a délka mostů a estakád činí 4 085 metru.

Na mapě na obrázku 8 je zobrazeno trasování těchto variant.



Obrázek 8: Sjezd do Trutnova - varianta TU1

Zdroj: (13)

Délka hlavní trasy varianty TU1 činí 65,745 kilometru s maximálním podélným sklonem 12,5 ‰ (TU1a), 20 ‰ (TU1b), respektive 35 ‰ (TU1b-alt).

2.2 VARIANTA TU2

Varianta TU2 začíná rovněž za výhybnou Býřov a její trasování a výškové vedení je totožné s variantou TU1 až do úrovně vyústění z tunelu Kuks. Za tímto tunelem je trasa vedena více východněji do Trutnova v rozdílu s variantou TU1 a rozděluje se do tří variant v totožném směrovém řešení:

- varianta TU2a – maximální podélný sklon 12,5 ‰, bez výhybny Studenec, což znamená bez napojení Trutnova, s výhybnou Mravenčí Vrch
- varianta TU2b/2c – maximální podélný sklon 20 ‰, s výhybnou Studenec – s napojením Trutnova, s výhybnou Mravenčí Vrch
- varianta TU2b-alt/2c-alt – maximální podélný sklon 35 ‰, s výhybnou Studenec – s napojením Trutnova, bez výhybny Mravenčí Vrch.

Ve variantě TU2a je trasa vedena za tunelem Kuks po estakádě a následně ústí v kilometru 126,900 do 11 000 metrů dlouhého dvoukolejného tunelu Kopna s maximálním navrhovaným podélným sklonem 12,5 ‰. Vlivem tohoto tunelu není ve variantě navržen sjezd do Trutnova. V kilometru 137,900 je trasa vyústěna z tunelu a dále vedena do oblasti pod Královecký Špičák. V tomto úseku je 29,314 kilometrů trasy vedeno převážně po umělých stavbách, délka mostů činí 22 525 metrů a estakád 4 420 metrů. Autor analýzou zjišťuje, že pro návrhovou část je tato varianta z pohledu parametrů pro modelování podobná variantě TU1a.

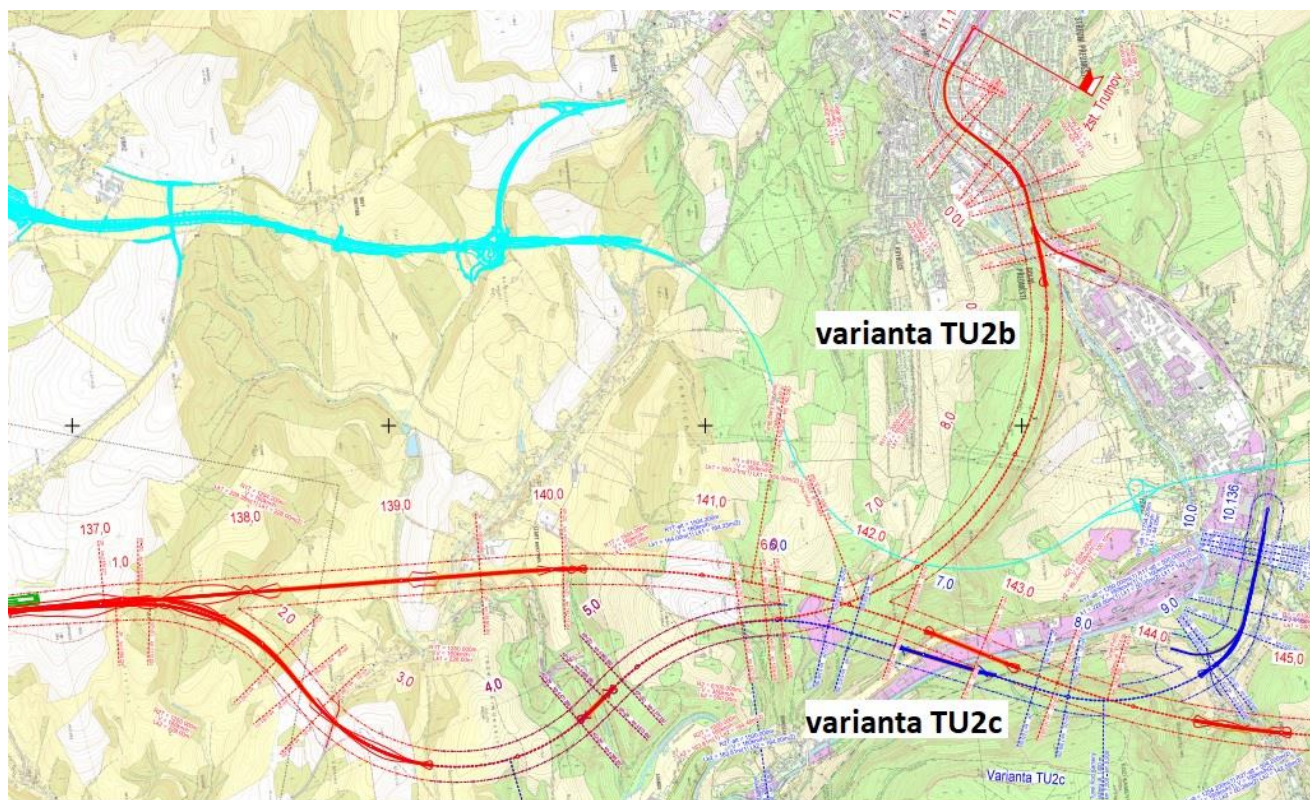
Ve variantě TU2b/2c trasa po estakádě v kilometru 127,200 ústí do 7 150 metrů dlouhého dvoukolejného tunelu Běluň. S navrhovaným podélným sklonem 19,593 ‰. V kilometru trasy 135,521 je ve variantě navržena výhybna Studenec, ze které je veden sjezd do Trutnova. Ten má návrhovou rychlost 160 km/h s maximálním podélným sklonem 20 ‰ a je navržen ve dvou variantách TU2b a TU2c:

- TU2b – sjezd v souběhu se stávající tratí zapojen do žst. Trutnov, délka sjezdu 11,149 kilometru se snížením návrhové rychlosti na 70-90 km/h
- TU2c – sjezd v souběhu se stávající tratí zapojen do žst. Trutnov-Poříčí, délka sjezdu 10,136 kilometru se snížením návrhové rychlosti na 70-100 km/h

V dalším úseku se v kilometru 144,414 trasa napojuje na variantu TU1b, kde v kilometru 155,414 je navržena výhybna Mravenčí Vrch. V tomto 16,314 kilometrů dlouhém úseku je převážná část trasy vedena po umělých stavbách, délka tunelů činí 11 984 metrů a délka mostů a estakád činí 2 550 metrů. Autor analýzou zjišťuje, že pro potřeby návrhové části jsou tyto varianty pro hlavní trasu z pohledu parametrů pro modelování podobné variantě TU1b.

Ve variantě TU2b-alt/2c-alt je trasa vedena ve stejné výškové i směrové poloze jako varianta TU2b/TU2c, včetně dopraven až do kilometru 142,300, odkud je trasa výškově vedena s maximálním podélným sklonem 35 ‰. V této variantě není navržena výhybna Mravenčí Vrch. V tomto 17,800 kilometrů dlouhém úseku je převážná část trasy vedena po umělých stavbách, délka tunelů činí 7 789 metrů a délka mostů a estakád činí 4 060 metrů. Autor analýzou zjišťuje, že pro potřeby návrhové části jsou tyto varianty pro hlavní trasu z pohledu parametrů pro modelování podobné variantě TU1b-alt.

Trasování těchto variant je zobrazeno na mapě na obrázku 9.



Obrázek 9: Sjezd do Trutnova - varianta TU2

Zdroj: (13) s úpravou autorem

Délka trasy varianty TU2 činí 65,825 kilometru s maximálním podélným sklonem 12,5 ‰ (TU2a), 20 ‰ (TU2b/2c), respektive 35 ‰ (TU2b-alt/ TU2c-alt).

2.3 VARIANTA TU3

Tato varianta je alternativou k variantě TU2 v oblasti sjezdu do Trutnova. Výškové a směrové vedení po tunel Kuks je totožné. Trasa za tunelem Kuks je vedena na rozdíl od varianty TU2 více východněji a rozděluje se do tří variant v totožném směrovém řešení:

- varianta TU3a – maximální podélný sklon 12,5 ‰, bez výhybny Radeč, což znamená bez napojení Trutnova, s výhybnou Mravenčí Vrch
- varianta TU3b – maximální podélný sklon 20 ‰, s výhybnou Radeč – s napojením Trutnova, s výhybnou Mravenčí Vrch
- varianta TU3b-alt – maximální podélný sklon 35 ‰, s výhybnou Radeč – s napojením Trutnova, bez výhybny Mravenčí Vrch.

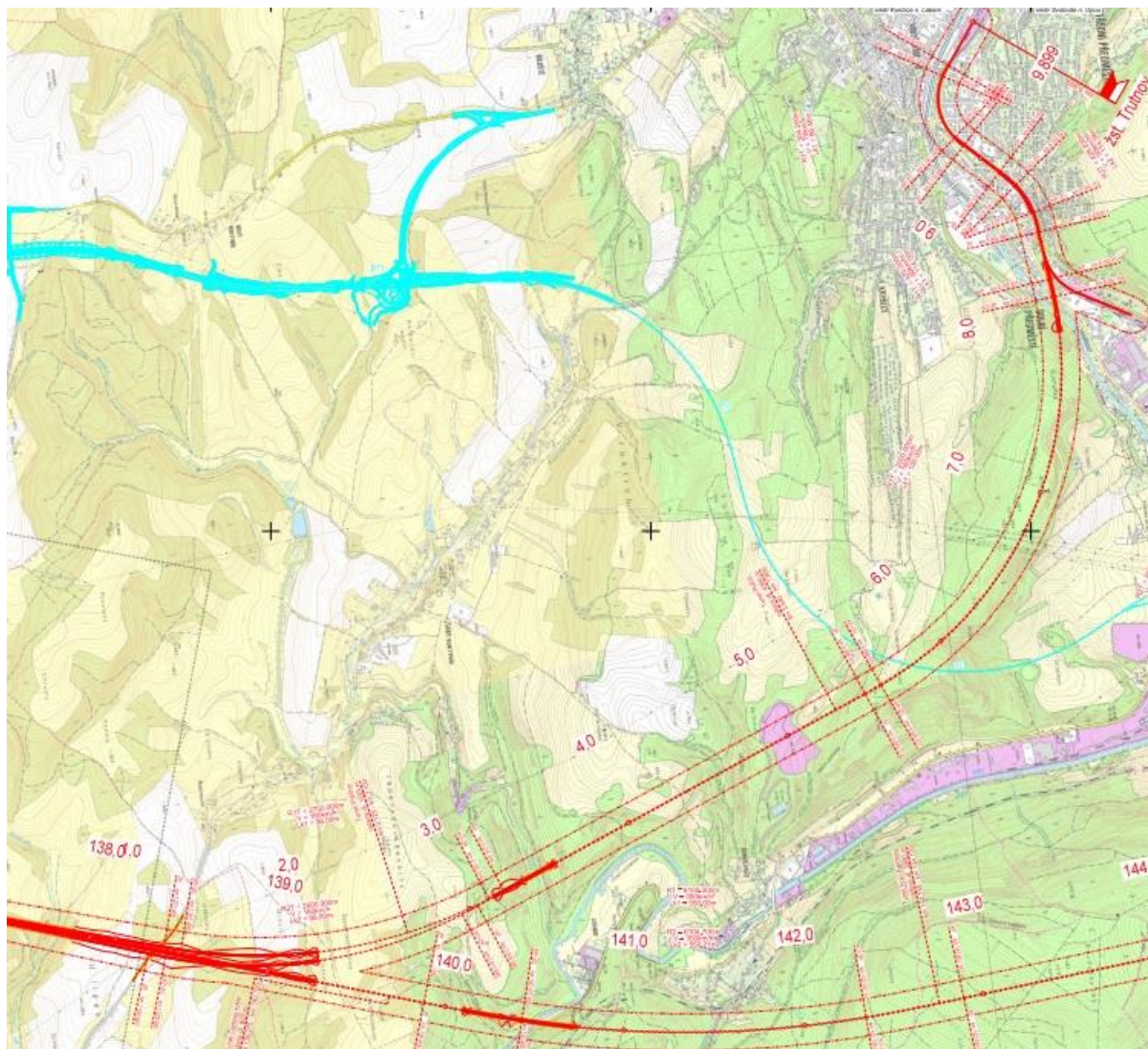
Ve variantě TU3a trasa ústí v kilometru 126,950 do 9 150 metrů dlouhého dvoukolejného tunelu Kopna s maximálním navrhovaným podélným sklonem 12,5 ‰. Vlivem tohoto dlouhého tunelu není navržen sjezd do Trutnova. Dále je trasa vedena náročným terénem

do oblasti pod Královecký Špičák. V tomto úseku je 29,475 kilometru tratě vedeno převážně po umělých stavbách, délka tunelů činí 23 255 metrů a délka mostů a estakád činí 2 510 metrů.

Ve variantě TU3b je trasa zaústěna v kilometru 127,100 do 8 000 metrů dlouhého dvoukolejného tunelu Běluň s navrhovaným podélným sklonem 15 ‰. V kilometru 136,515 tratě je navržena výhybna Radeč, ze které je trasován sjezd do Trutnova s návrhovou rychlostí 160 km/h a maximálním podélným sklonem 20 ‰. Tento sjezd je zapojen do žst. Trutnov v souběhu se stávající tratí. Délka sjezdu činí 9 899 kilometrů. Za výhybnou Radeč se v kilometru 150,075 se trasa napojuje na variantu TU2b/2c, kde v kilometru 155,475 je navržena výhybna Mravenčí Vrch. V tomto úseku je 17,175 kilometru tratě vedeno převážně po umělých stavbách, délka tunelů činí 13 130 metrů a délka mostů a estakád činí 1 600 metrů.

Ve variantě TU3b-alt je trasa vedena ve stejné výškové i směrové poloze jako varianta TU3b, včetně sjezdu do Trutnova až do kilometru 144,400, odkud je trasa alternativně výškově vedena s maximálním podélným sklonem 35 ‰. V této variantě není navržena výhybna Mravenčí Vrch. V tomto 15,800 kilometrů dlouhém úseku je převážná část trasy vedena po umělých stavbách, délka tunelů činí 6 645 metrů a délka mostů a estakád činí 3 560 metrů.

Autor pro návrhovou část zjišťuje, že parametry hlavní trasy u variant TU3 jsou podobné variantám TU2, liší se v problematice sjezdu do Trutnova, kde je navrženo jiné trasování. Trasování těchto variant je zobrazeno na mapě na obrázku 10.



Obrázek 10: Sjezd do Trutnova - varianta TU3

Zdroj: (13)

Délka trasy varianty TU3 činí 65,095 kilometru s maximálním podélným sklonem 12,5 ‰ (TU3a), 20 ‰ (TU3b), respektive 35 ‰ (TU3b-alt).

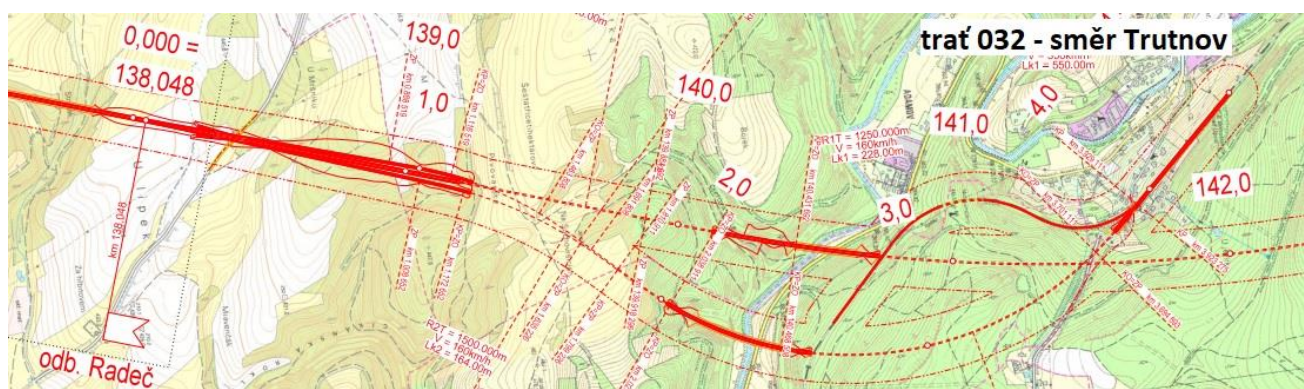
2.4 VARIANTA TU4

Ve variantě TU4 je trasa alternativou k variantě TU3 v oblasti sjezdu do Trutnova a je vedena v totožném směřování. Liší se ve výškovém vedení. Trasa ve variantě TU4 za tunelem Kuks je vedena v totožné stopě, jako varianta TU3. Zde je hranice pro rozdělení variant výškových vedení:

- varianta TU4a – trasa je totožná ve výškovém i směrovém vedení s variantou TU3a, maximální podélný sklon 12,5 ‰, bez odbočky Radeč, což znamená bez napojení Trutnova, s výhybnou Mravenčí Vrch

- varianta TU4b – maximální podélný sklon 20 ‰, s odbočkou Radeč – s napojením Trutnova, s výhybnou Mravenčí Vrch
- varianta TU4b-alt – trasa je totožná ve výškovém i směrovém vedení s variantou TU3b-alt, maximální podélný sklon 35 ‰, s odbočkou Radeč – s napojením Trutnova, bez výhybny Mravenčí Vrch.

Trasa ve variantě TU4b v kilometru 126,950 zaústěna do 9 150 metrů dlouhého dvoukolejného tunelu Kopna s navrhovaným podélným sklonem 12,5 ‰. Dále je na trati v kilometru 138,048 navržena odbočka Radeč, která slouží ke sjezdu do Trutnova s návrhovou rychlostí 160 km/h a maximálním podélným sklonem 20 ‰. Napojení sjezdu je navrženo do stávající tratě 032 (Jaroměř – Trutnov) v oblasti Bohuslavic nad Úpou. Trasa za odbočkou Radeč je vedena náročným terénem do kilometru 141,653, odkud se napojuje do stopy varianty TU3b. V tomto 16,528 kilometrů dlouhém úseku je převážná část trasy vedena po umělých stavbách, délka tunelů činí 10 940 metrů a délka mostů a estakád činí 875 metrů. Trasování těchto variant je zobrazeno na mapě na obrázku 11.



Obrázek 11: Sjezd do Trutnova - varianta TU4

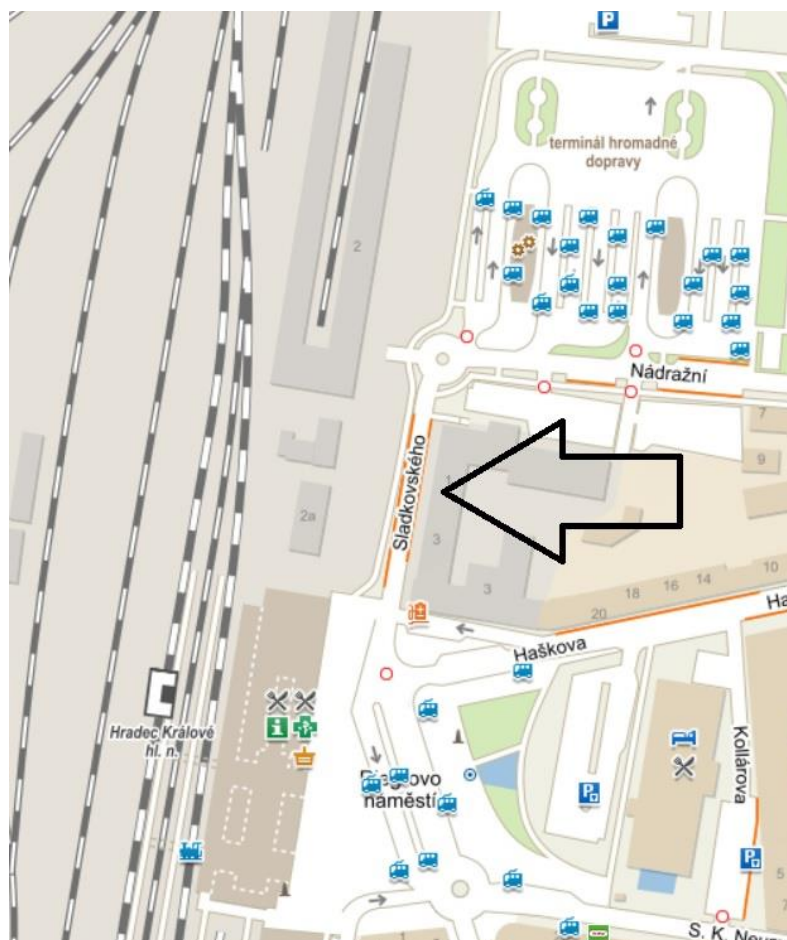
Zdroj: (13) s úpravou autorem

Délka trasy varianty TU4 činí 65,095 kilometru s maximálním podélným sklonem 12,5 ‰ (TU4a), 20 ‰ (TU4b), respektive 35 ‰ (TU4b-alt). Analýzou autor zjišťuje, že pro návrhovou část – modelování lze pro hlavní trasu sjednotit charakteristiky variant TU1-4a, TU1-4b, respektive c a TU1-4 b, c alt. vzhledem ke své podobnosti, čili návrhové rychlosti, délky trasy a podélného sklonu. Rozdílnost variant především spočívá v samotném napojení Trutnova.

2.5 VARIANTA TU5

Varianta TU5 je ve větší míře rozdílná od variant TU 1- TU4 ohledně umístění dalších sjezdů do Hradce Králové a Jaroměře. Trasa varianty TU5 vychází ze styčného bodu

v kilometru 95,923 za výhybnou Býřov, odkud vede doobce Svobodné Dvory. U této obce je navržena v kilometru 101,895 výhybna Svobodné Dvory, z níž je navržen jednokolejný sjezd s návrhovou rychlostí 100 km/h a podélným sklonem 20 ‰ v souběhu s tratí 041 (Hradec Králové – Turnov) do nově navržené podzemní stanice Hradec Králové – Terminál, která je navržena pod Sladkovského ulicí.



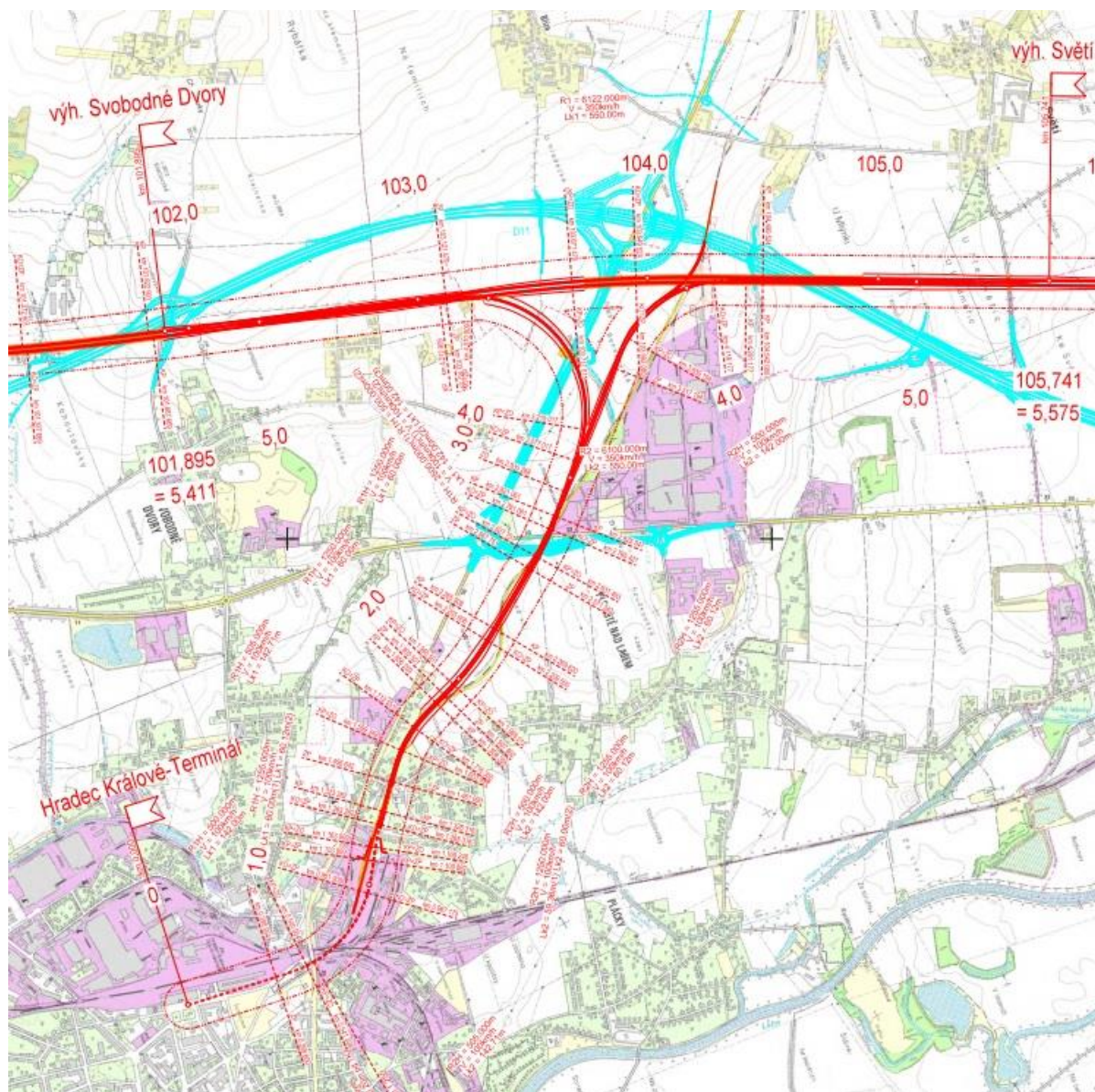
Obrázek 12: Umístění navrženého terminálu VRT Hradec Králové

Zdroj: (12) s úpravou autorem

Na mapě na obrázku 12 je uvedeno umístění nově navrženého podzemního terminálu VRT v Hradci Králové pod ulicí Sladkovského. Z obrázku je zřejmé, že tento terminál bude významným přestupním uzlem, vzhledem k napojení na současnou železniční stanici Hradec Králové hlavní nádraží, jakož i blízké poloze autobusového terminálu hromadné dopravy.

Součástí studie této varianty je rovněž možnost jednokolejného sjezdu do Hradce Králové s návrhovou rychlostí 100 km/h a maximálním podélným sklonem 20 ‰ z navržené výhybny Světí, která je umístěna v kilometru 105,741 trati. Ten vede jako druhá kolej do nově navržené stanice Hradec Králové – Terminál. Pro návrhovou část autor analýzou zjišťuje, že

napojení Hradce Králové je umožněno též sjezdem z výhybny Svobodné Dvory, což má za následek možnost vedení vlaků úvrátí do Hradce Králové. Situace trasy mezi výhybnou Svobodné Dvory a Světí, včetně sjezdů a umístění navrženého terminálu Hradec Králové je uvedena na mapě na obrázku 13.



Obrázek 13: Navržené sjezdy do stanice Hradec Králové – Terminál – varianta TU5

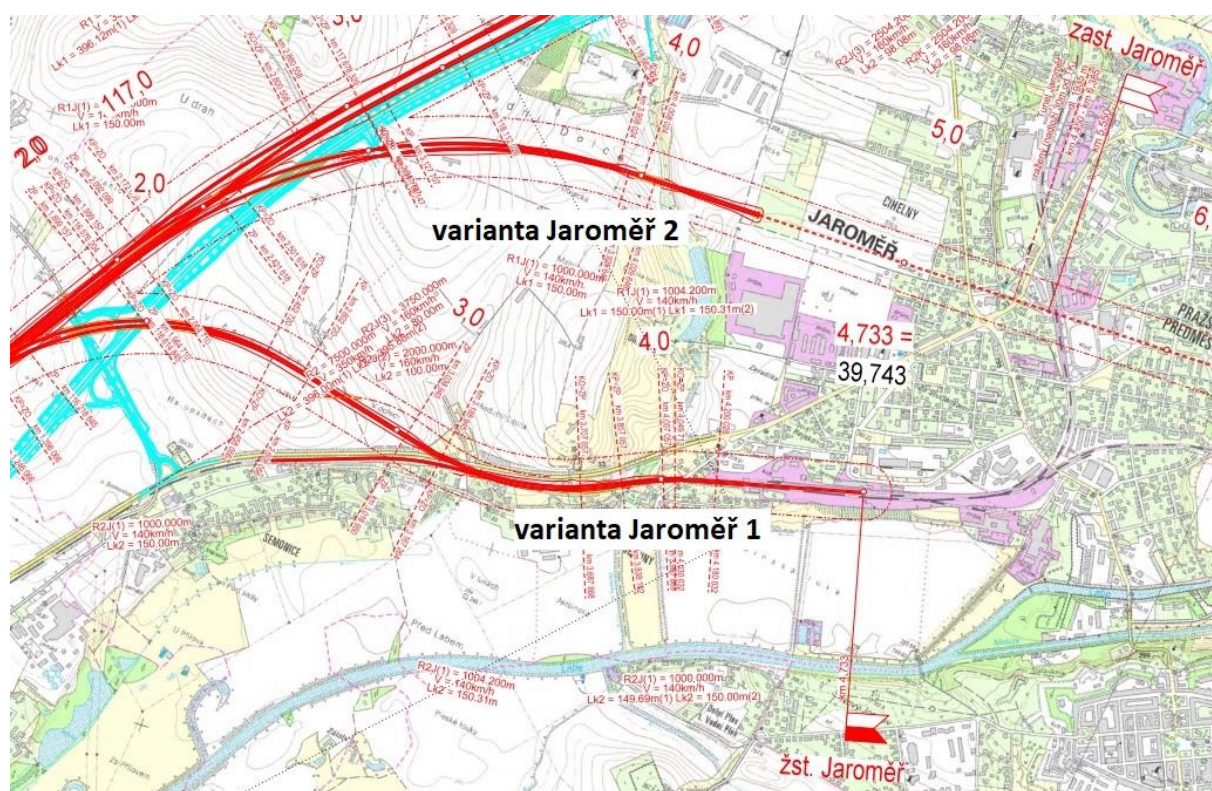
Zdroj: (13)

Dále je trasa vedena do kilometru 115,146. V tomto prostoru v blízkosti Černožič je navržena výhybna Rožnov, do níž jsou napojeny dva sjezdy - do Jaroměře a Kuks (-Stará Paka). U sjezdu do Jaroměře existují tři prověřované varianty (pracovní názvy Jaroměř 1 – 3), u sjezdu do Kuks jedna. Zároveň pro tento úsek (112,284 – 121,519 kilometru) je navržena alternativní varianta TU5d, ve které není navržena výhybna Rožnov a tudíž ani sjezd do Jaroměře a Kuks.

U varianty Jaroměř 1 je sjezd navržen jako dvoukolejný o délce 4,733 kilometru s návrhovou rychlostí 140 km/h a maximálním podélným sklonem 20 ‰. Zapojen je do žst. Jaroměř v souběhu s tratí 031 (Pardubice – Jaroměř).

U varianty Jaroměř 2 je sjezd navržen jako dvoukolejná o délce 8,314 kilometru s návrhovou rychlostí 140-160 km/h s maximálním podélným sklonem 30 ‰. Trasa sjezdu je vedena 1 935 metrů dlouhým dvoukolejným tunelem Jaroměř pod město. Zde je navržena zastávka Jaroměř, odkud trať po vyústění u tunelu je napojena na trať 032 (Jaroměř – Trutnov).

U varianty Jaroměř 3 je sjezd navržen jako 13,859 kilometru dlouhý dvoukolejný obchvat (mimo Jaroměř) s návrhovou rychlostí 160 km/h a zapojením do tratě 032 ve směru Česká Skalice. Sjezd Kuks, který je navržen jako dvoukolejný s návrhovou rychlostí 140-160 km/h a maximálním podélným sklonem 20 ‰ se napojuje do tratě 030 (Pardubice-Jaroměř-Liberec) ve směru Stará Paka.



Obrázek 14: Trasa sjezdu ve variantách Jaroměř 1 a Jaroměř 2

Zdroj: (13) s úpravou autorem

Na mapě na obrázku 14 jsou zobrazeny dvě varianty sjezdu – Jaroměř 1 a Jaroměř 2. Z mapy je patrné napojení varianty Jaroměř 1 do žst. Jaroměř, naopak u varianty Jaroměř 2 vedení trasy pod povrchem s nově navrženou zastávkou.

Dále je trasa vedena ve směru na sever v blízkosti dálnice D11 do 1 300 metrů dlouhého dvoukolejného tunelu Kuks, za nímž trasa vede kopcovitým terénem. Ta je rozdělena do dvou variant se stejným směrovým řešením:

- TU5a – maximální podélný sklon 25 ‰, bez výhybny Studenec – bez napojení Trutnova
- TU5b/5c – maximální podélný sklon 20 ‰, s výhybnou Studenec – s napojením Trutnova.

Ve variantě TU5a je trasa vedena za tunelem Kuks po estakádě u obce Dolní Vlčkovice. Následně v kilometru 127,350 je zaústěna do 6 950 metrů dlouhého dvoukolejného tunelu Běluň s maximálním navrhovaným podélným sklonem 25 ‰. Po vyústění z tunelu je trasa vedena severovýchodně od Trutnova pro přechod státní hranice u obce Petříkovice. V tomto 10,806 kilometru dlouhém úseku je převážná část trasy vedena po umělých stavbách, délka tunelů činí 4 800 metrů a délka mostů a estakád činí 2 365 metrů.

Ve variantě TU5b/5c je trasa zaústěna za estakádou u obce Dolní Vlčkovice v kilometru 127,284 do 7 150 metrů dlouhého dvoukolejného tunelu Běluň s navrhovaným podélným sklonem 19,593 ‰. Za místem vyústění tunelu je v kilometru 135,605 navržena výhybna Studenec, z níž je veden sjezd do Trutnova. Ten má návrhovou rychlost 160 km/h s maximálním podélným sklonem 20 ‰ a je navržen ve dvou variantách, které jsou totožné s variantou TU2b/c a zobrazeny na obrázku 9:

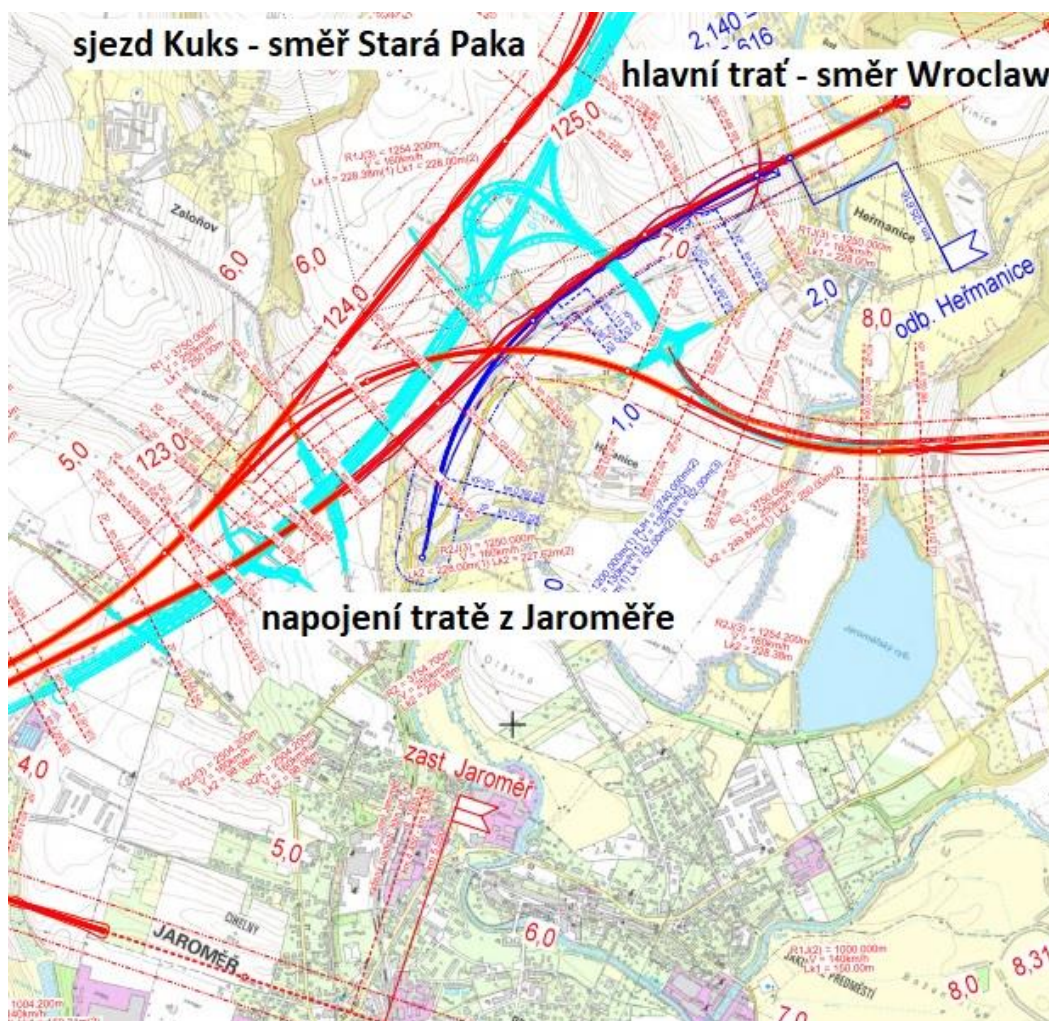
- TU5b – sjezd v souběhu se stávající tratí zapojen do žst. Trutnov, délka sjezdu 11,149 kilometru se snížením návrhové rychlosti na 70-90 km/h
- TU5c – sjezd v souběhu se stávající tratí zapojen do žst. Trutnov-Poříčí, délka sjezdu 10,136 kilometru se snížením návrhové rychlosti na 70-100 km/h

Dále trasa je vedena severovýchodním směrem od Trutnova na přechod státní hranice u obce Petříkovice. V tomto 10,806 kilometru dlouhém úseku je převážná část trasy vedena po umělých stavbách, délka tunelů činí 4 850 metrů a délka mostů a estakád činí 3165 metrů. Autor práce analýzou zjišťuje parametry základní varianty TU5 potřebné pro návrhovou část práce. Pro modelování jsou trasy odlišné od základních variant TU1-4 v napojení Hradce Králové, možností napojení dalších měst a tratí a samotným vedením do hraničního přechodu u obce Petříkovice.

Délka trasy varianty TU5 činí 53,167 kilometru s maximálním podélným sklonem 20 ‰ (TU5b/5c) - 25 ‰ (TU5a).

2.6 VARIANTA TU6

Ve variantě TU6 trasování začíná ze styčného bodu v kilometru 97,200 za výhybnou Sedlice, na niž navazuje varianta HK6. Z této výhybny je veden sjezd do stanice Hradec Králové – Terminál. Trasa dále pokračuje k obci Svobodné Dvory, kde je navržena v kilometru 105,068 výhybna Svobodné Dvory. Od této výhybny je trasa totožná s variantou TU5, včetně výhybny Světí a obou sjezdů do/od Hradce Králové. V kilometru 115,218 je navržena výhybna Rožnov, z níž jsou všechny varianty napojení Jaroměře (Jaroměř 1-3) a Kuks shodné s variantou TU5. Trasa dále pokračuje do kilometru 125,616 do oblasti obce Heřmanice, kde je navržena odbočka Heřmanice, z níž je vedeno jednokolejné napojení tratě 030 (Jaroměř – Stará Paka – Turnov – Liberec) z Jaroměře s návrhovou rychlostí 130 km/h a maximálním podélným sklonem 20 ‰.



Obrázek 15: Napojení tratě z Jaroměře

Na mapě na obrázku 15 je zobrazeno napojení z tratě 030 od Jaroměře, včetně odbočky Heřmanice. Autor analýzou zjišťuje, že pro možný sjezd vlaku z hlavní tratě do Jaroměře a jeho zpětné vedení na hlavní trať je umožněno pouze s užitím varianty sjezd Jaroměř 1 (viz mapa na obrázku 14).

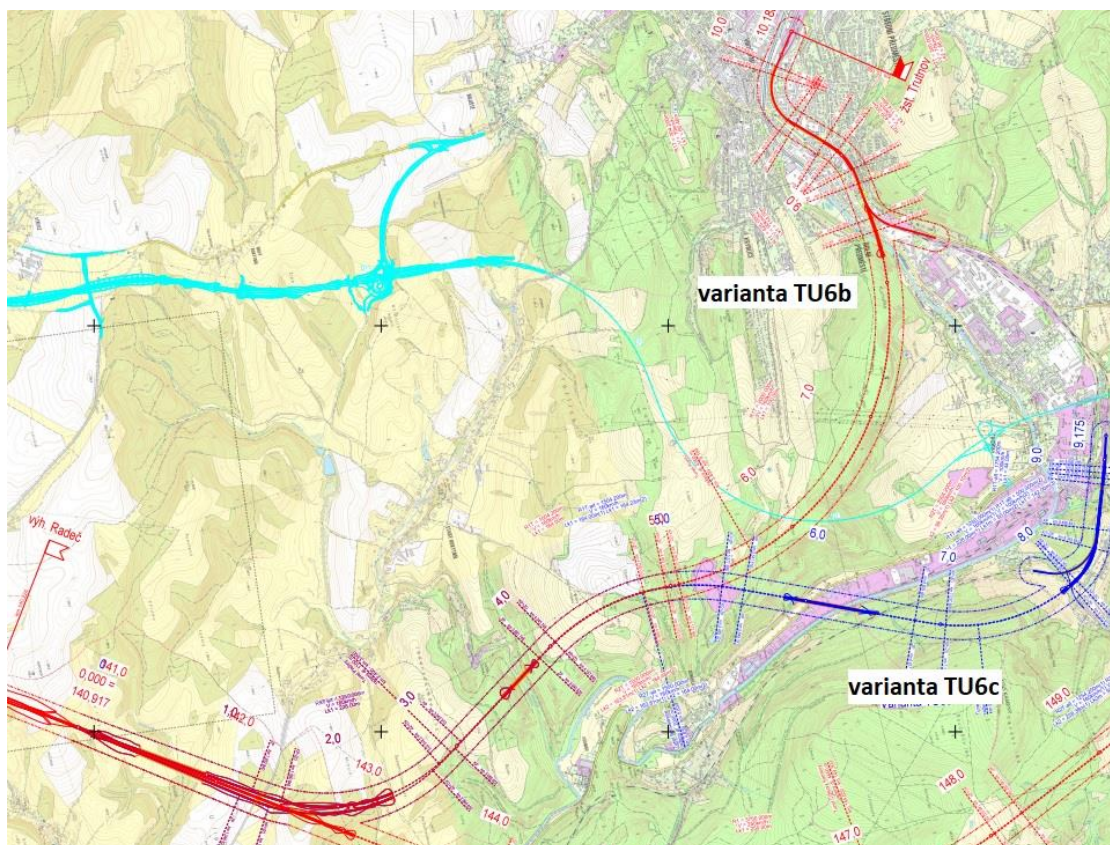
Za odbočkou Heřmanice je trasa vedena severním směrem, kde je zaústěna do 3 350 metrů dlouhého dvoukolejného tunelu Bokouš s podélným sklonem 30 ‰. Dále je trasa vedena severně náročným terénem a je rozdělena do dvou variant z hlediska přechodu státní hranice:

- TU6a/6b/6c – přechod státní hranice u obce Královec
- TU6alt – přechod státní hranice u obce Petříkovice

Ve variantě TU6a je trasa vedena totožně směrově i výškově, jako varianta TU6b/6c s rozdílem, že v ní není navržena výhybna Radeč – není umožněn sjezd do Trutnova. Ve variantách TU6b/6c je navržen sjezd do Trutnova z výhybny Radeč s návrhovou rychlostí 160 km/h a maximálním podélným sklonem 20 ‰ ve dvou variantách:

- TU6b – zapojení sjezdu do žst. Trutnov se snížením návrhové rychlosti ze 160 km/h na 70-90 km/h, délka sjezdu 10,188 kilometrů, délka tunelů 5 450 metrů a délka mostů a estakád 960 metrů
- TU6c – zapojení sjezdu do žst. Trutnov-Poříčí se snížením návrhové rychlosti ze 160 km/h na 70-100 km/h, délka sjezdu 9,175 kilometrů, délka tunelů 4 500 metrů a délka mostů a estakád 1 165 metrů.

Trasování těchto sjezdů, včetně výhybny Radeč je zobrazeno na mapě na obrázku 16.

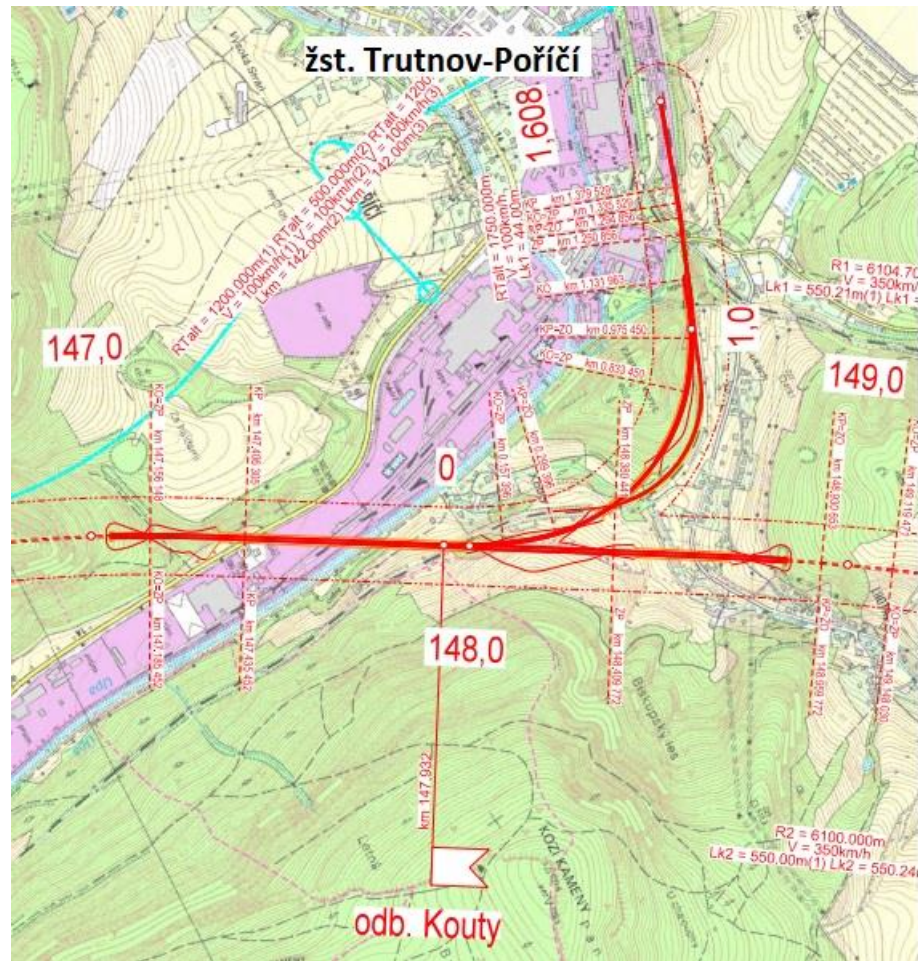


Obrázek 16: Sjezd do Trutnova - varianta TU6

Zdroj: (13) s úpravou autorem

Trasa dále je vedena v nové stopě, na rozdíl od variant TU1-5 přes náročný terén s využitím maximálního podélného sklonu 30 % do oblasti pod Královecký Špičák. V tomto 16,730 kilometrů dlouhém úseku je převážná část trasy vedena po umělých stavbách, délka tunelů činí 8 870 metrů a délka mostů a estakád činí 2 310 metrů. V kilometru 159,572 je navržena výhybna Mravenčí Vrch.

Ve variantě TU6alt je trasa vedena jiným směřováním, bez výhybny Radeč blíže k Trutnovu, přičemž překonává stávající železniční trať 032 (Jaroměř-Trutnov) po 650 metrů dlouhé estakádě. Na ní je v kilometru 147,932 navržena odbočka Kouty, ze které je veden jednokolejný sjezd do žst. Trutnov-Poříčí s návrhovou rychlostí 100 km/h a maximálním podélným sklonem 20,5 %. Tento sjezd je zobrazen na mapě na obrázku 17. Dále trasa vede severovýchodně k obci Petříkovice pro přechod státní hranice. V tomto 4,606 kilometrů dlouhém úseku je převážná část trasy vedena po umělých stavbách, délka tunelů činí 2 050 metrů a délka mostů a estakád činí 1 015 metrů



Obrázek 17: Sjezd do Trutnova - varianta TU6alt

Zdroj: (13) s úpravou autorem

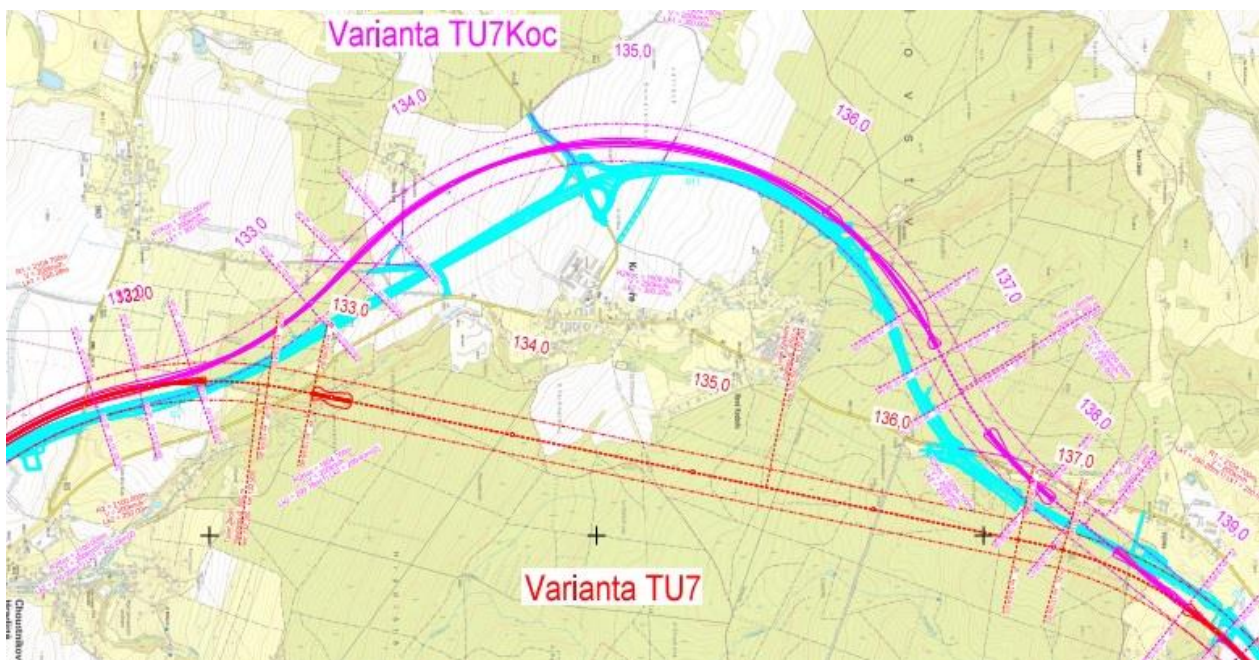
Pro návrhovou část autor v analýze varianty TU6 zjišťuje délku trasy, včetně umístění výhyben a odboček a maximálního podélného sklonu 30 ‰. Tyto varianty jsou odlišné už vzhledem k maximální návrhové rychlosti, která je 250 km/h. Délka trasy varianty TU6 činí 66,277 kilometru, varianty TU6alt činí 55,846 kilometru s maximálním podélným sklonem 30 ‰.

2.7 VARIANTA TU7

Ve variantě TU7 trasa vychází z varianty TU6. Ve variantě TU7 trasa začíná ze styčného bodu v kilometru 97,200 jako u varianty TU6 za výhybnou Sedlice, kde navazuje na variantu HK6. Trasa je dále vedena k obci Svobodné Dvory, kde je v kilometru 105,068 navržena výhybna Svobodné Dvory. Od této výhybny až po výhybnu Světí, včetně sjezdů do/od Hradce Králové je tato varianta totožná s variantou TU5. Za výhybnou Světí se tato varianta odpojuje od varianty TU5 do kilometru 117,100, kde dochází znovu k napojení těchto variant za výhybnou Rožnov. Z této výhybny jsou navrženy sjezdy do Jaroměře (ve variantách Jaroměř

1-3) a Kuks totožné, jako u varianty TU5. Trasa pokračuje do oblasti obce Kočeře, odkud je trasa navržena ve dvou variantách, které jsou znázorněny na mapě na obrázku 18:

- TU7 – základní vedení v 4 700 metrů dlouhém dvoukolejném tunelu Kočeře s maximálním podélným sklonem 35 %
- TU7Koc – alternativní vedení po povrchu v souběhu s dálnicí D11, s využitím dvou 450 a 550 metrů dlouhých dvoukolejných tunelů s maximálním podélným sklonem 35 %



Obrázek 18: Vedení trasy ve variantách TU7 a TU7Koc

Zdroj: (13)

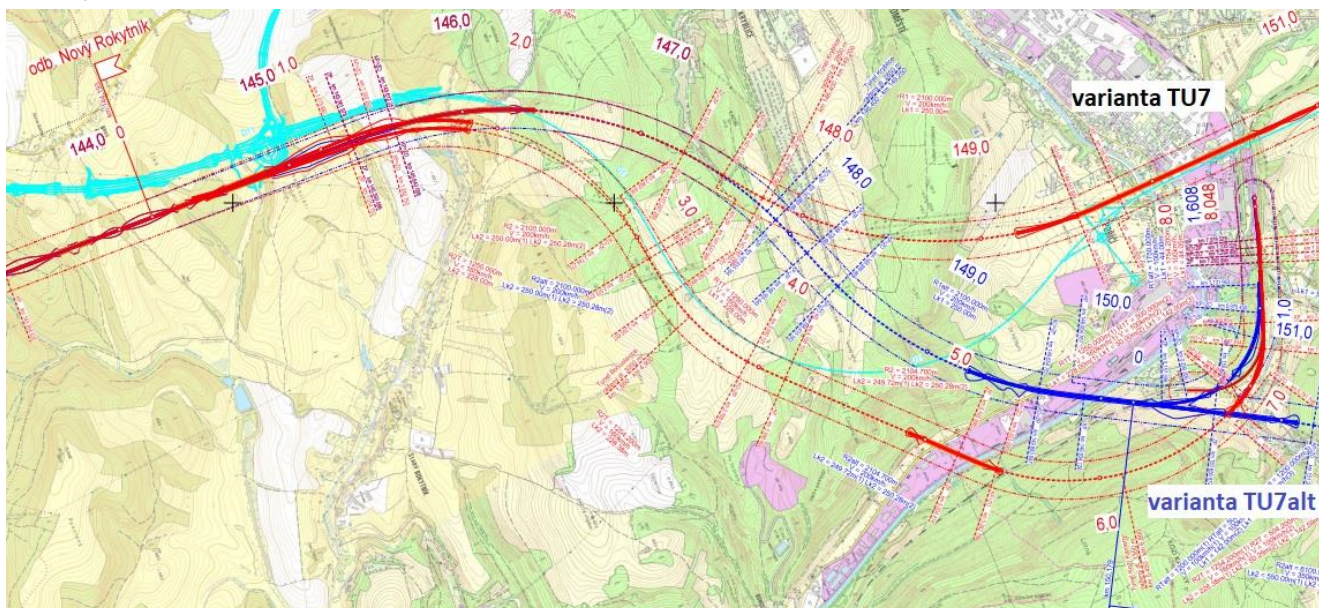
Autor analýzou zjišťuje, že vedení variant TU7 a TU7Koc není pro potřeby návrhové části velmi rozdílné v parametrech pro modelování a lze je tak považovat za jednu. Trasa je dále vedena k obci Střítež, u níž je navržen 300 metrů dlouhý dvoukolejný tunel s maximálním podélným sklonem 35 %. Za tímto tunelem trasa vede kopcovitým terénem a je navržena ve dvou variantách dle přechodu státní hranice:

- TU7a/7b – přechod státní hranice u obce Královec
- TU7alt – přechod státní hranice u obce Petříkovice

Ve variantě TU7a je trasa vedena ve stejném směrování a výškové poloze jako varianta TU7b. Na rozdíl od této varianty zde není navržena odbočka Nový Rokytník, čili trasa není napojena do Trutnova.

Ve variantě TU7b je za vyústěním z tunelu Střítež v kilometru 144,193 navržena odbočka Nový Rokytník. Z této odbočky je veden sjezd do žst. Trutnov-Poříčí s návrhovou rychlostí 160 km/h a maximálním podélným sklonem 16‰. Za odbočkou Nový Rokytník je trasa vedena složitým terénem do kilometru 162,306, v němž je navržena výhybna Královec v těsné blízkosti přechodu státní hranice.

Ve variantě TU7alt je trasa po vyústění z tunelu Střítež vedena směrem k Trutnovu, kde překonává obytné zástavby 2 800 metrů dlouhým dvoukolejným tunelem Kryblice s maximálním podélným sklonem 18,5‰. Za tímto tunelem je trasa vedena po 650 metrů dlouhé estakádě, na níž je v kilometru 150,179 navržena odbočka Kouty s jednokolejným sjezdem do žst. Trutnov-Poříčí. Odbočka Kouty, včetně sjezdu je totožná s variantou TU6alt. Další úsek trasy, vedoucí až do přechodu státní hranice u obce Petříkovice je veden ve stejné stopě s variantou TU6alt. V tomto 4,606 kilometru dlouhém úseku je převážná část trasy vedena po umělých stavbách, délka tunelů činí 2 050 metrů a délka mostů a estakád činí 1 015 metrů.



Obrázek 19: Sjezd do Trutnova ve variantách TU7 a TU7alt

Zdroj: (13) s úpravou autorem

Na mapě na obrázku 19 je zobrazeno trasování variant TU7 a TU7 alt, včetně sjezdů do Trutnova z odbočky Nový Rokytník (TU7b), respektive odbočky Kouty (TU7alt).

Délka trasy varianty TU7 činí 68,159 kilometrů, trasy varianty TU7b/7Koc činí 69,449 kilometrů, trasy varianty TU7alt činí 58,093 kilometrů a trasy varianty TU7alt/7Koc činí 59,383 kilometrů. U všech kombinací variant maximální podélný sklon činí 35 ‰. Pro návrhovou část autor zjistil, že pro hlavní trasu lze varianty TU7/TU7Koc + TU7a, b modelovat jako jednu,

vzhledem k podobným charakteristikám – kilometrické vzdálenosti a podélných sklonů. Rozdílné je vedení tras sjezdů do Trutnova, které jsou odlišné.

2.8 ZÁKLADNÍ ÚDAJE VARIANT

V této podkapitole se autor zabývá základními údaji variant pro úsek Hradec Králové – státní hranice CZ/PL.

Tabulka 1: Základní údaje o variantách

Varianta	návrhový sklon [‰]	návrhová rychlost [km/h]	délka tunelů v hlavní trase [km]	délka velkých mostů v hlavní trase [km]
TU1a	15,0	350	22,255	13,365
TU1b	20,0	350		
TU1b-alt	35,0	350		
TU2a	15,0	350	20,434	13,265
TU2b	20,0	350		
TU2c	20,0	350		
TU2b-alt	35,0	350		
TU2c-alt	35,0	350		
TU3a	15,0	350	22,430	12,365
TU3b	20,0	350		
TU3b-alt	35,0	350		
TU4a	15,0	350	23,690	11,890
TU4b	20,0	350		
TU4b-alt	35,0	350		
TU5a	25,0	350	13,300	9,480
TU5b	20,0	350		
TU5c	20,0	350		
TU5d	20,0	350		
TU5d-alt	20,0	350		
TU6a	30,0	250	13,320	9,640
TU6b	30,0	250		
TU6c	30,0	250		
TU6alt	30,0	250	9,700	8,195
TU7a	35,0	200	9,250	9,695
TU7b	35,0	200		
TU7b/TU7Koc	35,0	200		
TU7alt	35,0	200	10,500	7,870
TU7alt/TU7Koc	35,0	200		

Zdroj: Autor na podkladě (13)

V tabulce 1 je uveden přehled parametrů návrhové rychlosti, maximálního návrhového sklonu a délkou tunelů a mostů v hlavní trase variant v úseku Hradec Králové – státní hranice

CZ/PL. U variant, které jsou označeny tmavou barvou je trasa vedena přes přechod státní hranicí u obce Petříkovice. U zbylých variant je trasa přechodu státní hranice vedena přes obec Královec. Maximální návrhový sklon ze všech variant činí 35 ‰, ten je navržen u 10 z 28 variant uvedených v tabulce. Z Tabulky 1 vyplývá, že návrhová rychlost v základních variantách je rozdělena do tří úrovní. U základních variant TU1-5 je návrhová rychlost 350 km/h, u TU6 návrhová rychlost činí 250 km/h a u TU7 návrhová rychlost činí 200 km/h. V případě porovnání délek tunelů v hlavní trase vychází, že u variant TU1-4 přesahuje délka tunelů 20 kilometrů, největší délka je u varianty TU4 - 23,690 kilometrů. U variant TU5-7 činí délka tunelů v rozmezí 9 – 13 kilometrů, nejméně ve variantách TU7 vedených přes hraniční přechod u obce Královec. Ve sloupci délka velkých mostů v hlavních trasách je uveden počet kilometrů mostů v délce přesahující 50 metrů. Největší délka mostů je u varianty TU1 – 13.365 kilometru, nejmenší u variant TU7, vedených přes hraniční přechod u obce Petříkovice.

Tabulka 2: Napojení měst a tratí na hlavní trasu VRT/RS5

varianta	Hradec Králové	Jaroměř, resp. napojení na 032	napojení z 030 od Jaroměře	Stará Paka, napojení na 030	Trutnov
TU1a	ANO	NE	NE	NE	NE
TU1b	ANO	NE	NE	NE	ANO
TU1b-alt	ANO	NE	NE	NE	ANO
TU2a	ANO	NE	NE	NE	NE
TU2b	ANO	NE	NE	NE	ANO
TU2c	ANO	NE	NE	NE	ANO
TU2b-alt	ANO	NE	NE	NE	ANO
TU2c-alt	ANO	NE	NE	NE	ANO
TU3a	ANO	NE	NE	NE	NE
TU3b	ANO	NE	NE	NE	ANO
TU3b-alt	ANO	NE	NE	NE	ANO
TU4a	ANO	NE	NE	NE	NE
TU4b	ANO	NE	NE	NE	ANO
TU4b-alt	ANO	NE	NE	NE	ANO
TU5a	ANO	ANO	NE	ANO	NE
TU5b	ANO	ANO	NE	ANO	ANO
TU5c	ANO	ANO	NE	ANO	ANO
TU5d	ANO	NE	NE	NE	ANO/NE
TU5d-alt	ANO	NE	NE	NE	ANO/NE
TU6a	ANO	ANO	NE	ANO	NE
TU6a Heřmanice	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
TU6b	ANO	ANO	NE	ANO	ANO
TU6c	ANO	ANO	NE	ANO	ANO
TU6b Heřmanice	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO

TU6c Heřmanice	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
TU6alt	ANO	ANO	NE	ANO	ANO
TU6alt Heřmanice	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
TU7a	ANO	ANO	NE	ANO	NE
TU7b	ANO	ANO	NE	ANO	ANO
TU7b/TU7Koc	ANO	ANO	NE	ANO	ANO
TU7alt	ANO	ANO	NE	ANO	ANO
TU7alt/TU7Koc	ANO	ANO	NE	ANO	ANO

Zdroj: Autor na podkladě (13)

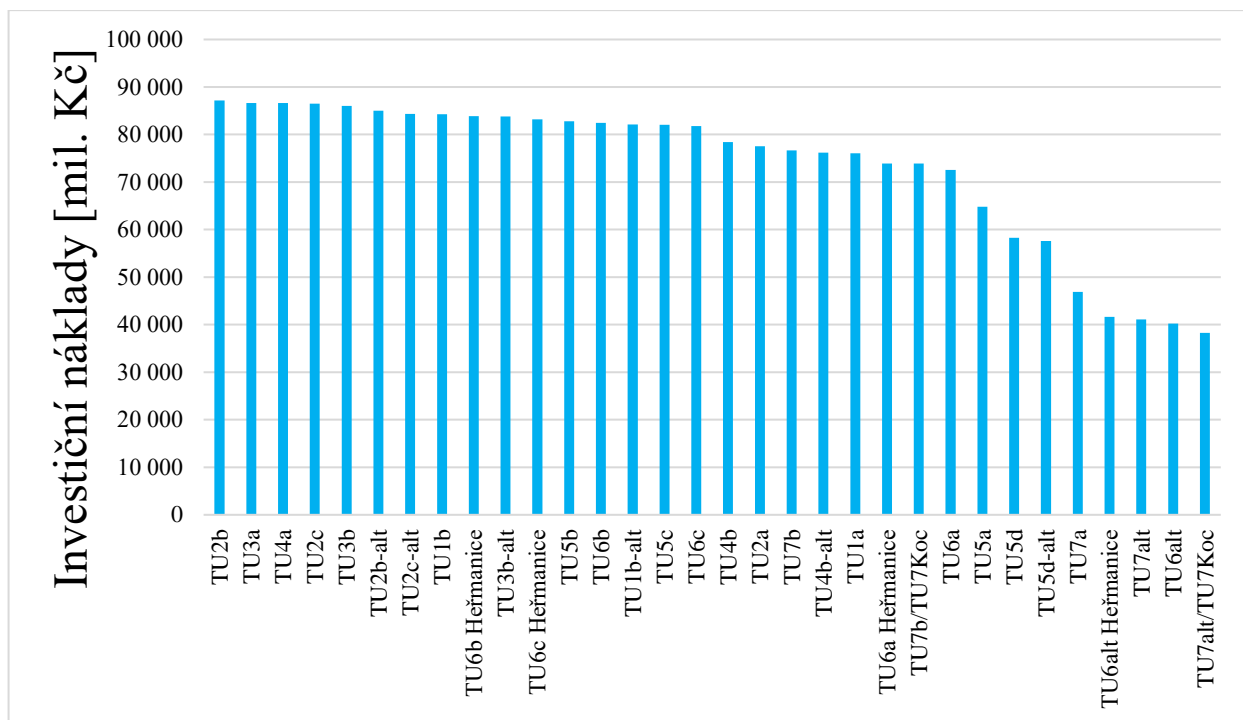
V tabulce 2 jsou uvedena města, respektive tratě, které jsou napojeny do hlavní trasy VRT/RS5. Z ní vyplývá, že všechny varianty jsou napojeny na a z města Hradec Králové. Napojení na Jaroměř, respektive trať 032 je u variant TU5a/b/c a všech základních variant TU6-TU7. Napojení na hlavní trať ve směru Wrocław z tratě 030 od Jaroměře je ve 4 variantách základní varianty TU6 – TU6a Heřmanice, TU6b Heřmanice, TU6c Heřmanice a TU6alt Heřmanice. Napojení na trať 030 z hlavní trasy ve směru Stará Paka je u variant TU5a/b/c a všech základních variant TU6-TU7. V případě napojení Trutnova je u základních variant TU1-4 vždy jedna varianta, u které není Trutnov napojen, z důvodu dlouhého tunelu. Vlivem tohoto tunelu je maximální návrhový sklon 15 ‰ (viz tabulka 1). U dalších základních variant je vždy jedna varianta, u níž tento sjezd není možný z důvodu nenavrnutí výhybny či odbočky. U variant TU5d, respektive TU5d-alt v tomto úseku je shodný s variantami 5a/b/c. Proto zde může být napojení Trutnova.

Tabulka 3: Ekonomické zhodnocení variant

varianta	investiční náročnost [mil. Kč]	délka trasy [km]	měrné náklady [mil.Kč/km]
TU1a	76 074	70,401	1080
TU1b	84 274	78,149	1078
TU1b-alt	82 133	78,319	1048
TU2a	77 506	70,135	1105
TU2b	87 151	81,240	1072
TU2c	86 465	80,226	1077
TU2b-alt	85 026	81,560	1042
TU2c-alt	84 340	80,546	1047
TU3a	86 611	70,196	1233
TU3b	86 032	80,070	1074
TU3b-alt	83 800	80,370	1042
TU4a	86 611	70,196	1233
TU4b	78 435	74,620	1051
TU4b-alt	76 192	74,920	1016
TU5a	64 794	97,094	667
TU5b	82 765	108,244	764
TU5c	82 079	107,230	765
TU5d	58 273	72,363	805
TU5d-alt	57 586	71,349	807
TU6a	72 526	110,204	658
TU6a Heřmanice	73 935	112,344	658
TU6b	82 447	120,392	684
TU6c	81 783	119,379	685
TU6b Heřmanice	83 857	122,532	684
TU6c Heřmanice	83 193	121,519	684
TU6alt	40 235	65,500	614
TU6alt Heřmanice	41 622	67,640	615
TU7a	46 883	76,205	615
TU7b	76 698	120,134	638
TU7b/TU7Koc	73 927	120,134	615
TU7alt	41 075	67,747	606
TU7alt/TU7Koc	38 304	67,747	565

Zdroj: Autor na podkladě (13)

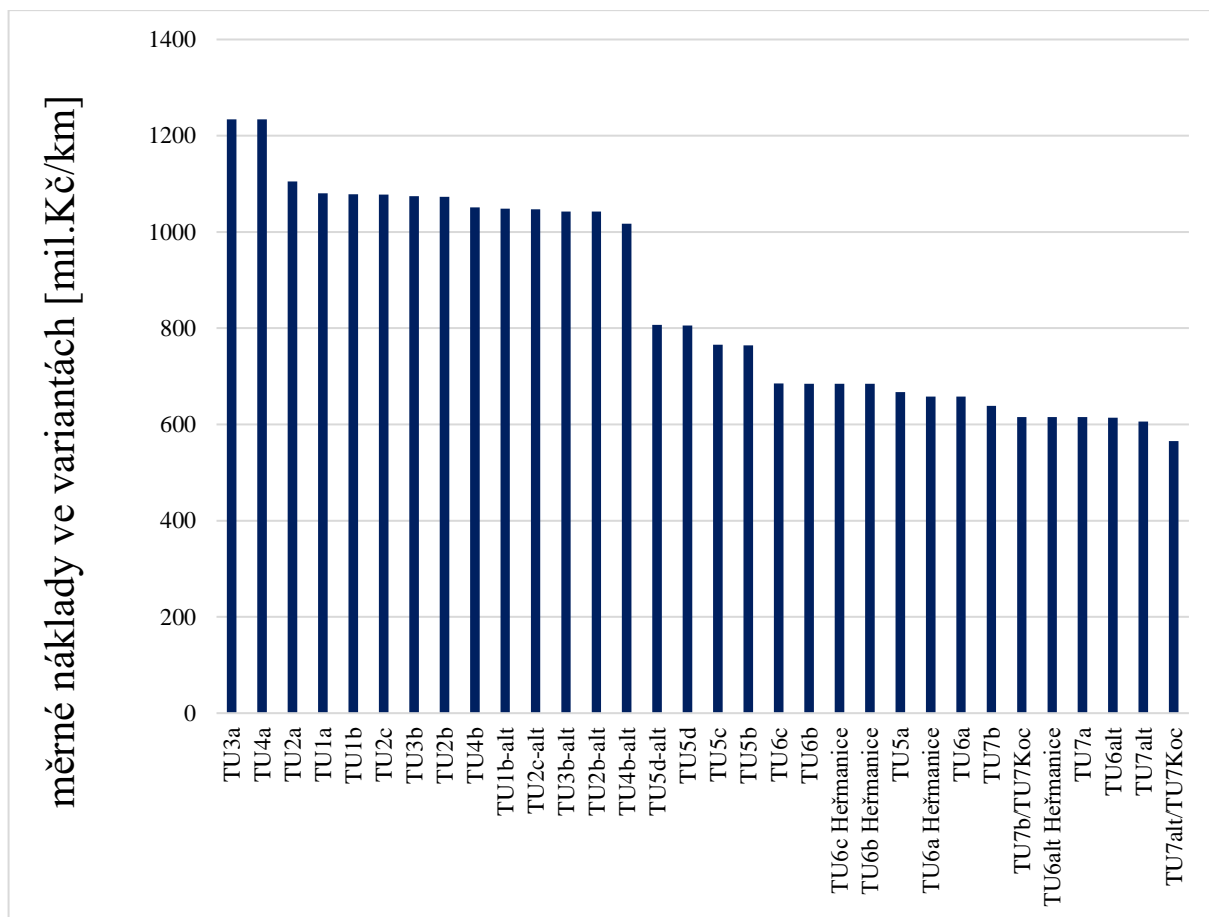
V tabulce 3 jsou uvedeny hodnoty celkové investiční náročnosti v mil. Kč, délka základní trasy v kilometrech a měrné náklady, vyjádřené v mil. Kč/km ve variantách tras v úseku Hradec Králové – státní hranice CZ/PL.



Obrázek 20: Investiční náklady variant

Zdroj: Autor na podkladě (13)

Na grafu na obrázku 20 je zobrazení celkových investičních nákladů variant v mil. Kč. Při pohledu na graf je zřejmé, že u poloviny variant celková investiční náročnost je v rozmezí 80 000– 90 000 mil. Kč. Nejvyšší je u varianty TU2b, u níž je hodnota 87 151,718 mil. Kč. Nejnižší hodnoty jsou u variant TU7alt/TU7Koc, TU6alt, TU7alt a TU6alt Heřmanice, u nichž dosahují řádově o polovinu nižší, kolem 40 000 mil. Kč. Absolutně nejnižší u varianty TU7alt/TU7Koc - 38 304 mil. Kč.



Obrázek 21: Měrné náklady ve variantách

Zdroj: Autor na podkladě (13)

Na grafu na obrázku 21 je zobrazení měrných nákladů variant vyjádřených v mil. Kč/km tratě. Nejvyšší měrné náklady jsou u variant TU3a a TU4a, u nich činí 1233 mil. Kč/km. Nejnižší měrné náklady jsou u varianty TU7alt/TU7Koc - 565 mil. Kč/km.

3 NÁVRH DOPRAVNÍHO ŘEŠENÍ VE VARIANTÁCH

V této kapitole se autor zabývá popisem vstupních dat pro simulaci, samotnou simulací provozu konkrétních vlakových souprav na vybraných variantách pro úseky od terminálu v Hradci Králové po konec variant TU - hranice CZ/PL (pracovně nazvané HK – hranice), respektive od začátku variant TU (navazující na varianty HK) po konec úseku těchto variant (pracovně nazvané začátek – hranice) a zpět. Nakonec autor popíše a zhodnotí výstupy z této simulace.

3.1 VOZIDLA PRO SIMULACI A JEJICH PARAMETRY

Pro potřeby simulace autor na základě doporučení použil elektrické jednotky ř.680 Pendolino, railjet a ICE 3. Parametry vozidel jsou použity z programu Opentrack.

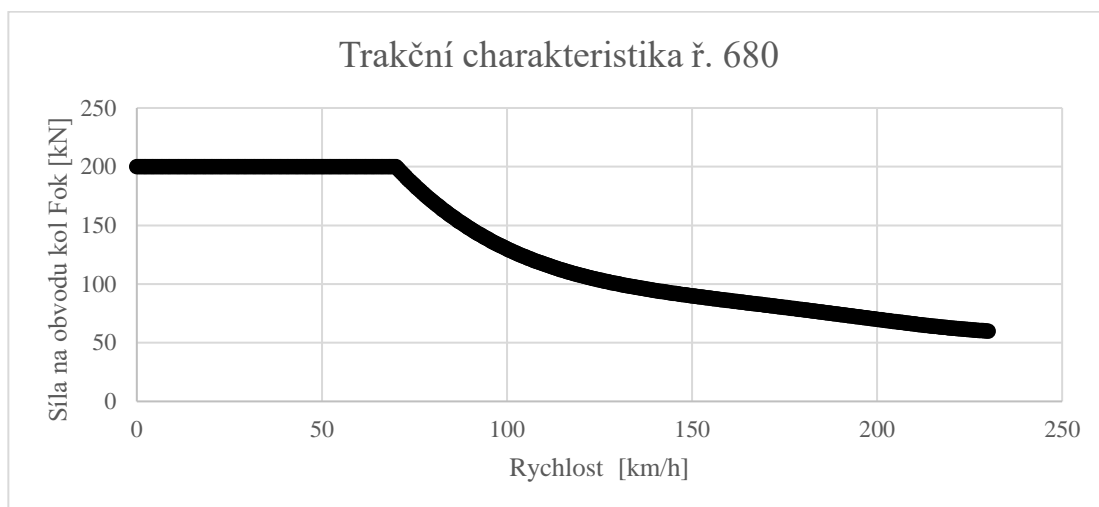
Elektrická jednotka ř.680 Pendolino

Tabulka 4: Vstupní parametry el. jednotky ř.680

Hmotnost [t]	384
Rovnice vozidlového odporu [kN]	$3,3+0,02422V+0,000552V^2$
Součinitel rotačních hmot [-]	0,06
Maximální rychlost [km/h]	230
Maximální výkon [kW]	3 920

Zdroj: Autor na podkladě (14)

V tabulce 4 jsou vstupní parametry elektrické jednotky řady 680 Pendolino pro potřebu tvorby simulačního modelu. Hmotnost plné jednotky činí 384 tun, rovnice pro výpočet vozidlového odporu v kN je ve tvaru $3,3+0,02422V+0,000552V^2$, součinitel rotačních hmot 0,06, maximální rychlost 230 km/h a maximální výkon 3 920 kW.



Obrázek 22: Graf trakční charakteristiky el. jednotky řady 680

Zdroj: Autor na podkladě (14)

Na grafu na obrázku 22 je uvedena trakční charakteristika elektrické jednotky řady 680, kterou autor získal aproximací z bodů křivky, získané z programu Opentrack. Aproximaci autor provádí u všech grafů trakčních charakteristik pomocí metody Newtonův interpolační polynom (18). Z grafu je zřejmé, že u elektrické jednotky řady 680 je maximální hodnota síly na obvodu kol 200 kN. Z této křivky jsou v modelu zjišťovány hodnoty síly na obvodu kol při dané rychlosti.

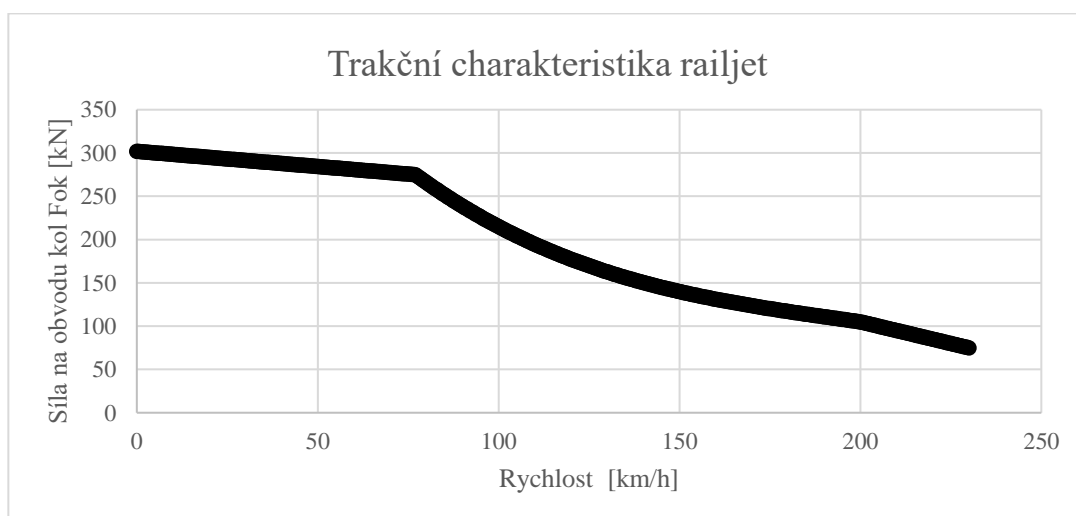
Elektrická netrakční jednotka railjet

Tabulka 5: Vstupní parametry elektrické netrakční jednotky railjet

Hmotnost lokomotivy [t]	87
Hmotnost soupravy [t]	350
Rovnice vozidlového odporu [kN]	$3,3+0,02422V+0,000552V^2$
Součinitel rotačních hmot [-]	0,06
Maximální rychlost [km/h]	230
Maximální výkon [kW]	6 400

Zdroj: Autor na podkladě (14)

V tabulce 5 jsou uvedeny hodnoty vstupních parametrů elektrické netrakční jednotky railjet pro potřeby simulačního modelu. Souprava ucelené jednotky je tažena lokomotivou řady 1216 „Taurus“ o hmotnosti 87 tun, maximální rychlostí 230 km/h a maximálním výkonem 6 400 kW. Hmotnost soupravy tažených vozidel činí 350 tun, uvažováno je s hodnotou součinitele rotačních hmot 0,06 a rovnicí pro výpočet vozidlového odporu v kN při konkrétní rychlosti $3,3+0,02422V+0,000552V^2$.



Obrázek 23: Graf trakční charakteristiky el. jednotky railjet

Zdroj: Autor na podkladě (14)

Na grafu na obrázku 23 je uvedena trakční charakteristika pro elektrickou netrakovou jednotku railjet (lokomotivu řady 1216 „Taurus“), získaná aproximací křivky z programu Opentrack pro potřeby simulačního modelu. Z této křivky je zřejmé, že maximální hodnota síly na obvodu kol činí 302 kN.

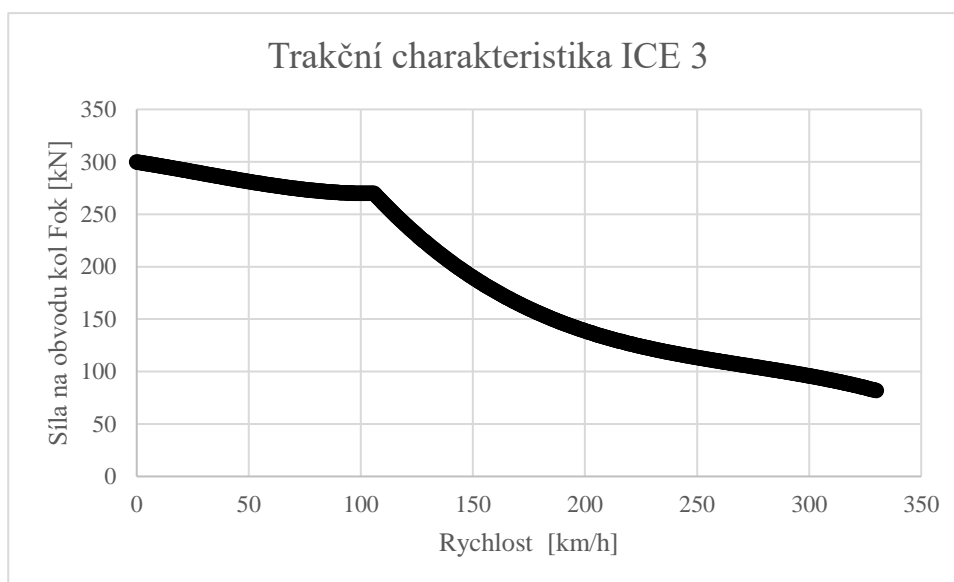
Elektrická jednotka ICE 3

Tabulka 6: Vstupní parametry el. jednotky ICE 3

Hmotnost [t]	463
Rovnice vozidlového odporu [kN]	$2,245+0,02678V+0,00055V^2$
Součinitel rotačních hmot [-]	0,06
Maximální rychlost [km/h]	330
Maximální výkon [kW]	8000

Zdroj: Autor na podkladě (14)

V tabulce 6 jsou uvedeny hodnoty vstupních parametrů elektrické jednotky ICE 3 pro potřebu simulačního modelu. Hmotnost plné jednotky činí 463 tun, rovnice pro výpočet vozidlového odporu v kN je ve tvaru $2,245+0,02678V+0,00055V^2$, součinitel rotačních hmot 0,06, maximální rychlost 330 km/h a maximální výkon 8 000 kW.



Obrázek 24: Graf trakční charakteristiky el. jednotky ICE 3

Zdroj: Autor na podkladě (14)

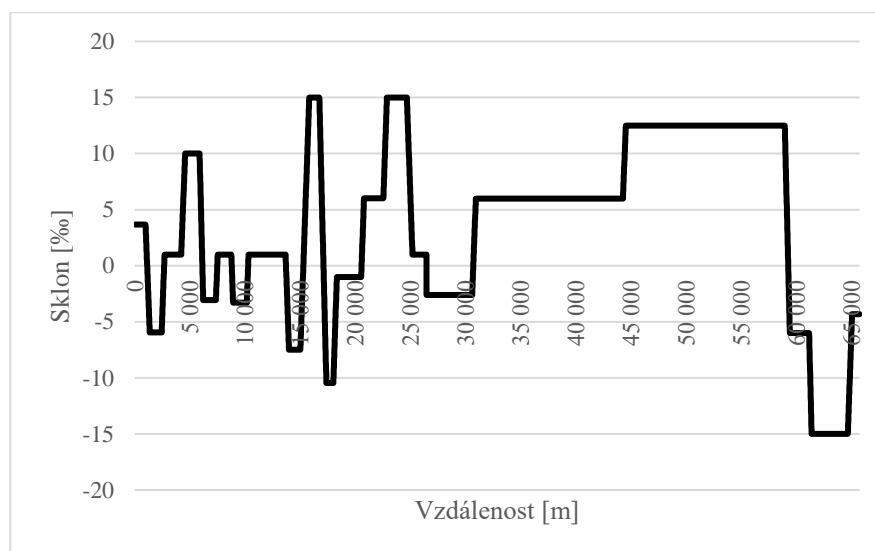
Na grafu na obrázku 22 je uvedena trakční charakteristika elektrické jednotky řady ICE 3, určená pro potřeby simulačního modelu, kterou autor získal aproximací z křivky, získané z programu Opentrack. Maximální hodnota síly na obvodu kol činí 300 kN.

3.2 VÝBĚR VARIANT PRO SIMULACI A JEJICH PARAMETRY

Pro potřebu modelu jsou nutné traťové parametry kvůli výpočtu odporů působících na vozidlo z trati. Mezi tyto parametry se řadí sklonové poměry, poloměry oblouků a existence tunelu.

Z kapitoly 2 - analýzy variant vyplývá, že základní varianty TU1-4 jsou téměř totožné, vzhledem k tomu, že jsou stejně koncipované – všechny varianty jsou navrženy na maximální rychlost 350 km/h, mají podobnou délku i počet kilometrů umělých staveb. Proto se autor rozhodnul pro zjednodušení pro potřeby simulace použít jako zástupce těchto základních variant variantu TU1a, TU1b a TU1b-alt. Základní varianty TU5, TU6 a TU7 jsou v modelu řešeny zvlášť.

Varianta TU1a

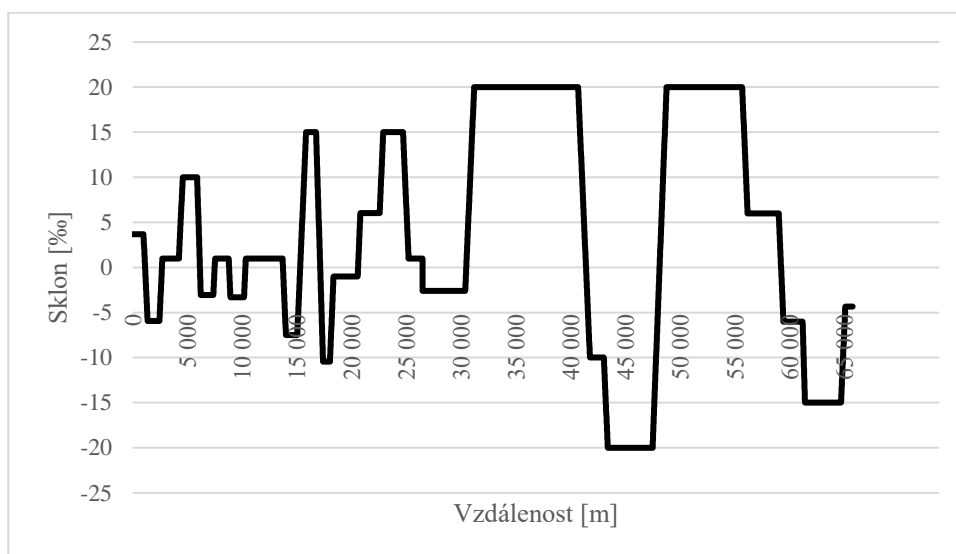


Obrázek 25: Graf průběhu sklonu ve variantě TU1a začátek - konec úseku

Zdroj: Autor na podkladě (13)

Na grafu na obrázku 25 je znázorněn průběh sklonu ve variantě TU1a. Maximální hodnota stoupání je 15 ‰, avšak na menší vzdálenosti a bez přítomnosti tunelu. Nejvíce problematický úsek pro jízdu kolejových vozidel může být dlouhé stoupání dle grafu od km 30,9 do km 58,9 o podélném sklonu až 12,5 ‰ (dle grafu pro úsek HK – hranice od km 17,1 do km 45,4), přičemž v téměř celé délce tohoto úseku je veden dvoukolejný tunel.

Varianta TU1b

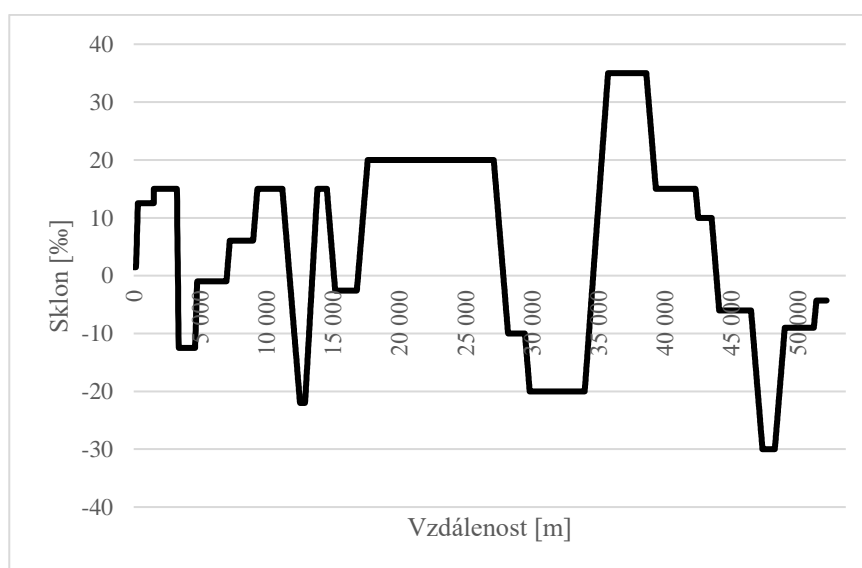


Obrázek 26: Graf průběhu sklonu ve variantě TU1b začátek - konec úseku

Zdroj: Autor na podkladě (13)

Na grafu na obrázku 26 je znázorněn průběh sklonu ve variantě TU1b. Maximální hodnota podélného sklonu 20 ‰ je situována na dvou delších úsecích na grafu od km 31,1 do km 40,5 (dle grafu pro úsek HK – hranice od km 17 do km 27) a od km 49 do km 57 (dle grafu pro úsek HK – hranice od km 35 do km 43), které jsou předěleny úsekem jedním o podélném sklonu -20 ‰. Problematikou pro jízdu vlaků mohou být právě tyto dva úseky, jenž jsou z větší části doplněné dlouhými tunely.

Varianta TU1b-alt

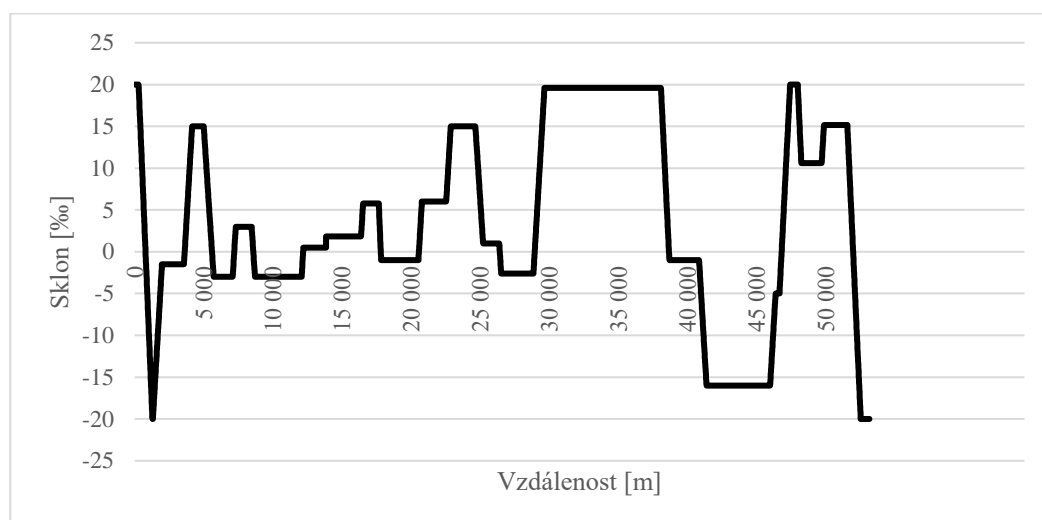


Obrázek 27: Graf průběhu sklonu ve variantě TU1b-alt HK - konec úseku

Zdroj: Autor na podkladě (13)

Na grafu na obrázku 27 je znázorněn průběh sklonu ve variantě TU1b-alt v úseku nájezdu z Hradce Králové po konec úseku varianty. Za problematický úsek lze charakterizovat dlouhé stoupání o podélném sklonu 20 ‰ na grafu od km 17,6 do km 27,1, u něhož je trať doplněna dlouhým tunelem. Rovněž problematický pro jízdu vlaku může být přechod v úseku s klesáním -20 ‰ do úseku se stoupáním o sklonu 35 ‰ na grafu od km 34 do km 39, v němž se rovněž nachází několik delších tunelů.

Základní varianta TU5

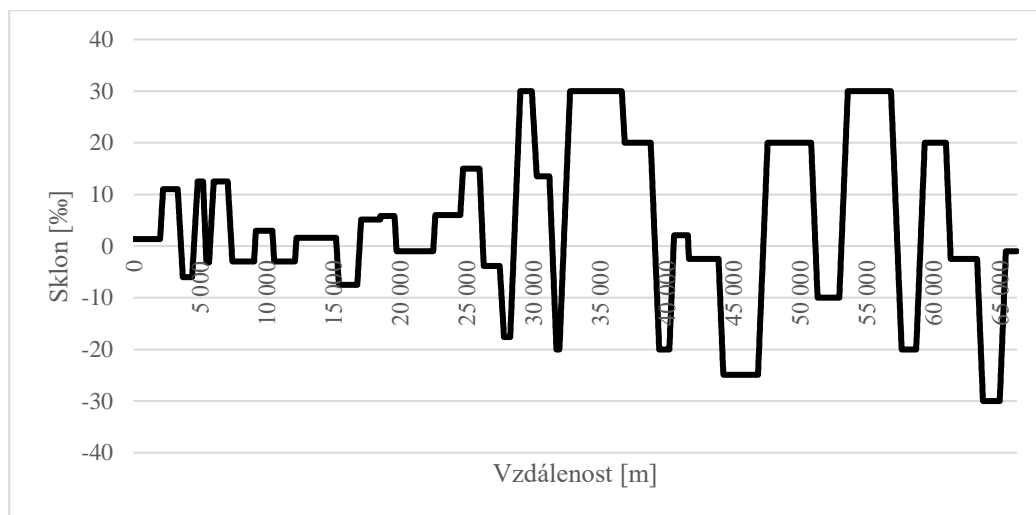


Obrázek 28: Graf průběhu sklonu ve variantě TU5 začátek - konec úseku

Zdroj: Autor na podkladě (13)

Na grafu na obrázku 28 je znázorněn průběh sklonu ve variantě TU5. Za problematický lze určit delší úsek se stoupáním o sklonu 19,593 ‰, uvedený na grafu od km 29,6 do km 38,1 (dle grafu pro úsek HK – hranice od km 25 do km 34), který je v celé délce veden v tunelu. Problematický pro jízdu vozidel může být rovněž úsek uvedený na grafu od km 45,9 do km 48,0 (dle grafu pro úsek HK – hranice od km 42 do km 44), ve kterém dochází ke změně sklonových poměrů z klesání 16 ‰ na stoupání o sklonu 20 ‰, přičemž tento přechod je doplněn tunelem.

Základní varianta TU6

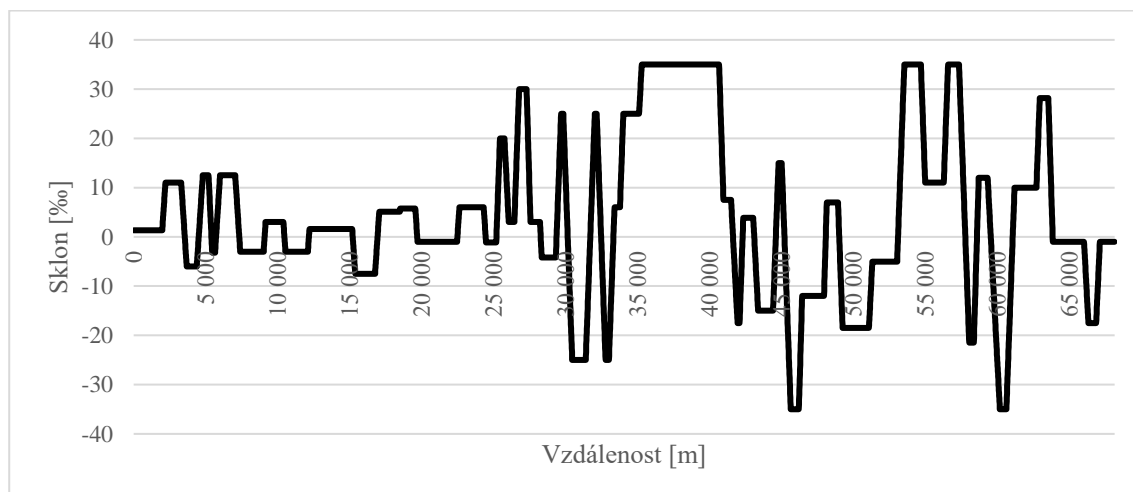


Obrázek 29: Graf průběhu sklonu ve variantě TU6 začátek - konec úseku

Zdroj: Autor na podkladě (13)

Na grafu na obrázku 29 je zobrazen průběh sklonu ve variantě TU6. Za problematické úseky, které mohou mít největší vliv na jízdu kolejového vozidla, lze určit úseky od km 32,1 do km 36,2 (dle grafu pro úsek HK – hranice od km 26 do km 30) a od km 53,5 do km 56,8 dle grafu (dle grafu pro úsek HK – hranice od km 47 do km 50), ve kterých je maximální sklon 30 ‰ a podstatná část je vedena v tunelech. Totéž platí o úseku od km 47,5 do km 50,9 dle grafu (dle grafu pro úsek HK – hranice od km 41 do km 44), ve kterém je podélný sklon 20 ‰ a celý úsek je veden v tunelu.

Základní varianta TU7



Obrázek 30: Graf průběhu sklonu ve variantě TU7 začátek - konec úseku

Zdroj: Autor na podkladě (13)

Na grafu na obrázku 30 je znázorněn průběh sklonu ve variantě TU7. Nejvíce problémovým úsekem, který může mít vliv na jízdu kolejových vozidel je zobrazen na grafu od km 35,1 do km 40,6 (dle grafu pro úsek HK – hranice od 29. do 34. km) , ve kterém je stoupání o sklonu až 35 ‰ a v celém tomto úseku se nachází dlouhý tunel.

3.3 SIMULAČNÍ MODEL

Simulační model byl vytvořen v programu Microsoft Excel na základě (16) s krokem 10 metrů. Vzorce jsou použity z literatury (15), model vychází ze vztahů z mechaniky dopravy – zjednodušené pohybové rovnice vlaku [1]:

$$m_{vl} \cdot (1 + \rho_{vl}) \cdot \ddot{x} = F_{ok} - B_{vl} - O_{vl} \quad [1]$$

kde:

- m_{vl} [kg] hmotnost vlaku
- ρ_{vl} [-] součinitel rotačních hmot
- \ddot{x} [m.s⁻²] hodnota zrychlení
- F_{ok} [N] tažná síla na obvodu kol
- B_{vl} [N] brzdná síla na obvodu kol
- O_{vl} [N] jízdní odpor vlaku

$$O_{vl} = O_v + O_t \quad [2]$$

kde:

- O_v [N] vozidlový odpor
- O_t [N] traťový odpor

Tažná síla na obvodu kol

Hodnota skutečné tažné síly na obvodu kol (F_{ok}) je v modelu zjištěna porovnáním aktuální a maximální traťové rychlosti. V případě, kdy aktuální rychlost je menší, než traťová, platí vztah [3]:

$$F_{ok} = F_{max} \quad [3]$$

kde:

- F_{max} [N] maximální hodnota síly na obvodu kol

Hodnota F_{\max} je brána z trakčních charakteristik (viz kapitola 3.1), jež je vyhledána na základě aktuální rychlosti v jednotce km/h. V případě, kdy aktuální rychlost je rovna rychlosti traťové je v modelu použit vztah [4]:

$$F_{ok} = O_V + O_t \quad [4]$$

Zrychlení

Hodnota aktuálního zrychlení je vypočtena na základě vztahu pohybové rovnice vlaku [1], ze které je vytknut člen zrychlení \ddot{x} pro konkrétní iterační krok.

$$\ddot{x}_i = \frac{F_{ok\ i-1} - O_{t\ i-1} - O_{v\ i-1}}{m_{vl} \cdot (1 + \rho_{vl})} \quad [5]$$

Brzdná síla

Brzdná síla slouží k udržení konstantní rychlosti, aby nedošlo k překročení maximální konstrukční rychlosti vozidla a maximální traťové rychlosti, respektive ke zpomalení k danému místu vlivem maximální traťové rychlosti či zastavení.

Pro potřeby modelu k vyvození brzdného účinku ke zpomalení vlivem omezení traťové rychlosti či zastavení jsou použity hodnoty odrychlení pro elektrickou jednotku řady 680 a netrakční jednotku railjet 0,6 [m.s⁻²], pro elektrickou jednotku ICE 3 hodnota 0,65 [m.s⁻²]. Pro výpočet rychlosti v jednotce [km/h] v konkrétním iteračním kroku je použito vztahu [6]:

$$V_{i-1} = 3,6 * \sqrt{\left(\frac{V_{i+1}}{3,6}\right)^2 + 2 \cdot \ddot{x} \cdot s} \quad [6]$$

kde:

- V_{i-1} [km/h] rychlost v i-1 -tém kroku
- V_{i+1} [km/h] rychlost v i+1 – tém kroku
- \ddot{x} [m.s⁻²] odrychlení
- s [m] dráha – 10 m

Rychlost

Rychlost je základní fyzikální veličina, ze které lze určit dráhu, respektive čas. Výpočet rychlosti je v modelu uvažován jako pohyb rovnoměrně zrychlený pro jednotlivé iterační kroky a proveden na základě vztahu [7]:

$$V_{i+1} = 3,6 * \sqrt{\left(\frac{V_{i-1}}{3,6}\right)^2 + 2 \cdot \ddot{x} \cdot s} \quad [7]$$

Výkon

Výpočet výkonu v modelu slouží ke kontrole, čili porovnání s maximální hodnotou výkonu vozidla. Výpočet hodnoty výkonu pro jednotlivé iterační kroky je v modelu proveden na základě vztahu [8]:

$$P_i = F_{ok i} \cdot v_i \quad [8]$$

kde:

- P_i [W] výkon
- $F_{ok i}$ [N] tažná síla na obvodu kol
- v_i [m/s] rychlost

Jízdní doba

Jízdní doba je v modelu počítána jako součet časů jednotlivých iteračních kroků. Pro výpočet těchto časů iteračních kroků t_i [s] jsou použity dva vztahy. Vztah [7] je použit při konstantní rychlosti, vztah [8] je použit při zrychlení, respektive zpomalení.

$$t_i = \frac{s}{v_i} \quad [9]$$

$$t_i = \frac{v_i - v_{i-1}}{\ddot{x}} \quad [10]$$

Trat'ové odpory

Mezi trat'ové odpory patří odpor při průjezdu obloukem, odpor ze sklonu a odpor z jízdy tunelem. Celkový trat'ový odpor O_t [N] je v modelu vypočten z celkového měrného odporu, který je nahrazen náhradním sklonem pro jednotlivé iterační kroky:

$$S_{n i} = o_{R i} + s_i + o_{tun i} \quad [11]$$

kde:

- $S_{n i}$ [‰] náhradní sklon
- $o_{R i}$ [N/kN] měrný odpor z jízdy obloukem
- s_i [‰] sklon

- $o_{tun i}$ [N/kN] měrný odpor z jízdy v tunelu

Pro výpočet měrného odporu z jízdy obloukem je použit vztah [12]:

$$o_R = \frac{600}{R} \quad [12]$$

kde:

- R [m] poloměr oblouku

Odpor z jízdy tunelem je v rámci modelu zařazen mezi jízdní odpory vozidlové, protože ve skutečnosti se jedná o účinek odporu na vozidlový odpor. Významnost to má především v případě vysokorychlostní železnice. (15)

Celkový traťový odpor v jednotlivých iteračních krocích je dán vztahem [13]:

$$O_{ti} = s_{ni} \cdot M_{vl} \cdot g \quad [13]$$

Vozidlové odpory

Výpočet vozidlových odporů je závislý na aktuální rychlosti. Pro jednotlivé iterační kroky je proveden na základě rovnice vozidlového odporu, jejichž vztah je vyjádřen u každé elektrické jednotky v kapitole 3.1.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.3. – traťové odpory, výpočet odporu z jízdy v tunelu je v modelu počítán jako vozidlový odpor. V případě, že se na konkrétním úseku iteračního kroku nachází tunel, je zaveden takzvaný korekční tunelový faktor k_t a vztah pro celkový vozidlový odpor je ve tvaru:

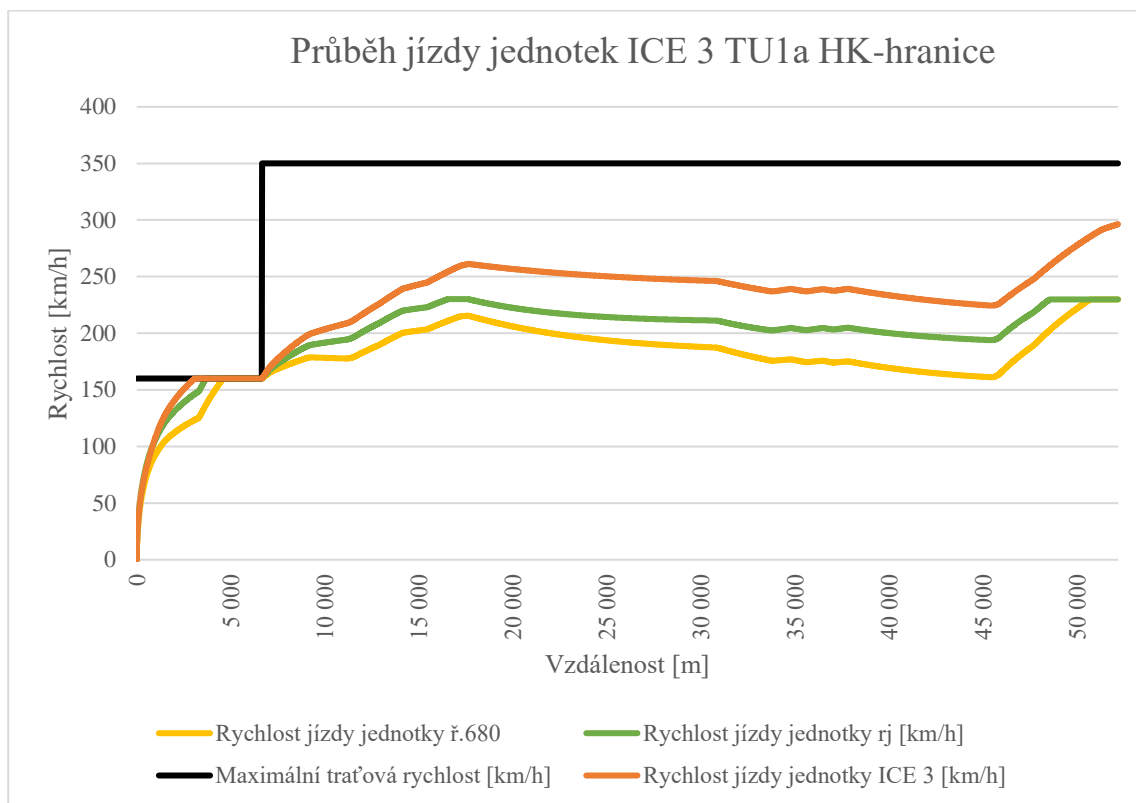
$$O_{vi} = a + b \cdot V + k_t \cdot c \cdot V^2 \quad [14]$$

Pro potřebu simulačního modelu je v práci uvažována hodnota korekčního tunelového faktoru $k_t = 2,5$ pro všechny tunely.

3.4 VÝSTUPY ZE SIMULAČNÍHO MODELU – PRŮBĚH JÍZDY

V této podkapitole autor uvádí výstupy ze simulačního modelu, kterými jsou jízdní vlastnosti vozidel, uvedených v kapitole 3.1. na zmíněných trasách uvedených v kapitole 3.2., včetně průměrné rychlosti.

Varianta TU1a úsek HK - hranice



Obrázek 31: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1a v úseku HK – hranice

Zdroj: Autor

Na grafu na obrázku 31 je graficky znázorněn průběh jízdy jednotek v úseku HK – hranice. Dle grafu je zřejmé, že traťové a vozidlové odpory výrazně ovlivní průběh jízdy jednotek přibližně od 17. kilometru dle grafu, kde jak již bylo zmíněno v kapitole 3.2. dochází ke stoupání, doplněné tunelem. El. jednotka řady 680 v tomto bodě vyvodí tažnou sílu na rychlost 215 km/h, rj na rychlost 230 km/h a ICE 3 na rychlost 261 km/h, odkud jejich rychlost postupně klesá přibližně do 45. kilometru dle grafu, ve kterém je ukončeno 12,5 ‰ stoupání, doplněné tunelem. V tomto bodě el. jednotka ř.680 má rychlost 161 km/h, jednotka rj má rychlost 194 km/h a jednotka ICE 3 má rychlost 224 km/h. Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek v opačném úseku (hranice – HK) je uvedeno v příloze 1.

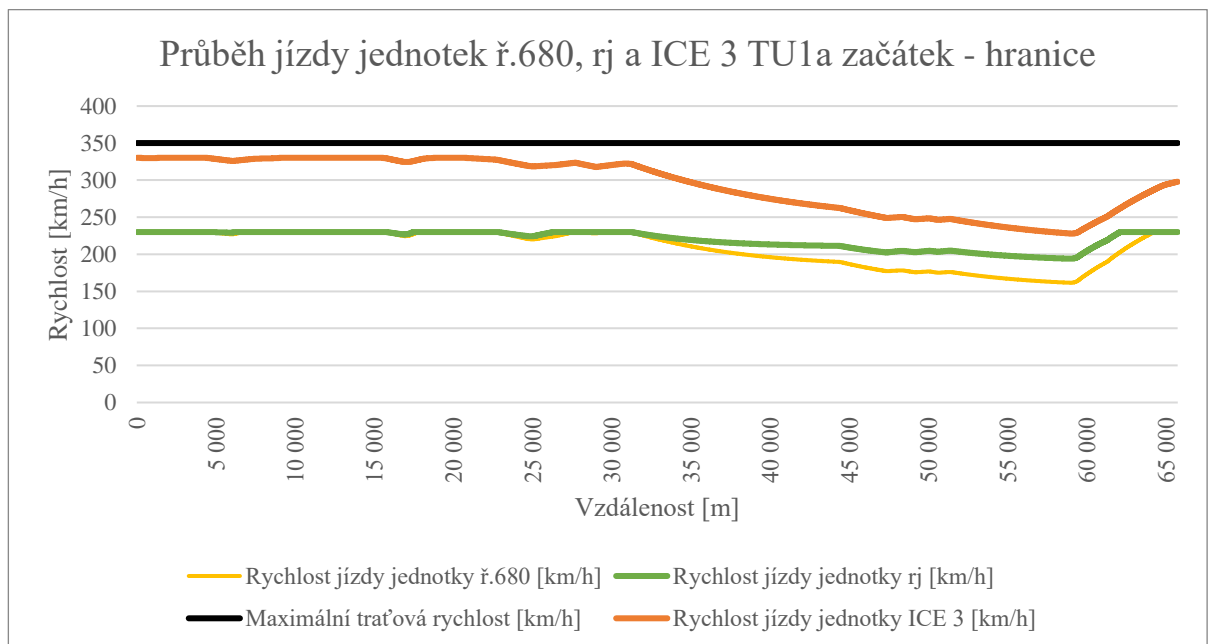
Tabulka 7: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU1a úsek HK - hranice a opačně

vozidlo	úsek	průměrná rychlost [km/h]
ICE 3	HK - hranice CZ/PL	227,3
	hranice CZ/PL - HK	278,8
rj	HK - hranice CZ/PL	200,1
	hranice CZ/PL - HK	217,6
680	HK - hranice CZ/PL	180,1
	hranice CZ/PL - HK	216,5

Zdroj: Autor

V tabulce 7 jsou uvedeny hodnoty průměrných rychlostí u jednotek pro úseky HK – hranice a opačně. Průměrná rychlost jednotky ICE 3 v úseku HK – hranice činí 227,3 km/h a pro opačný směr 278,8 km/h. U jednotky rj činí průměrná rychlost v úseku HK – hranice 200,1 km/h a pro opačný směr 217,6 km/h. U jednotky ř.680 činí průměrná rychlost v úseku HK – hranice 180,1 km/h a pro opačný směr 216,5 km/h.

Varianta TU1a úsek začátek - hranice



Obrázek 32: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1a v úseku začátek – hranice

Zdroj: Autor

Na grafu na obrázku 32 je grafické znázornění průběhu jízdy jednotek v úseku začátek – hranice. Dle grafu lze usoudit, že přibližně do 30. kilometru dle grafu je průběh jízdy vozidel na hraně konstrukční rychlosti a následně dochází k poklesu vlivem stoupání

v dlouhých tunelech přibližně do 59. kilometru dle grafu. Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek v opačném úseku (hranice – začátek) je uvedeno v příloze 2.

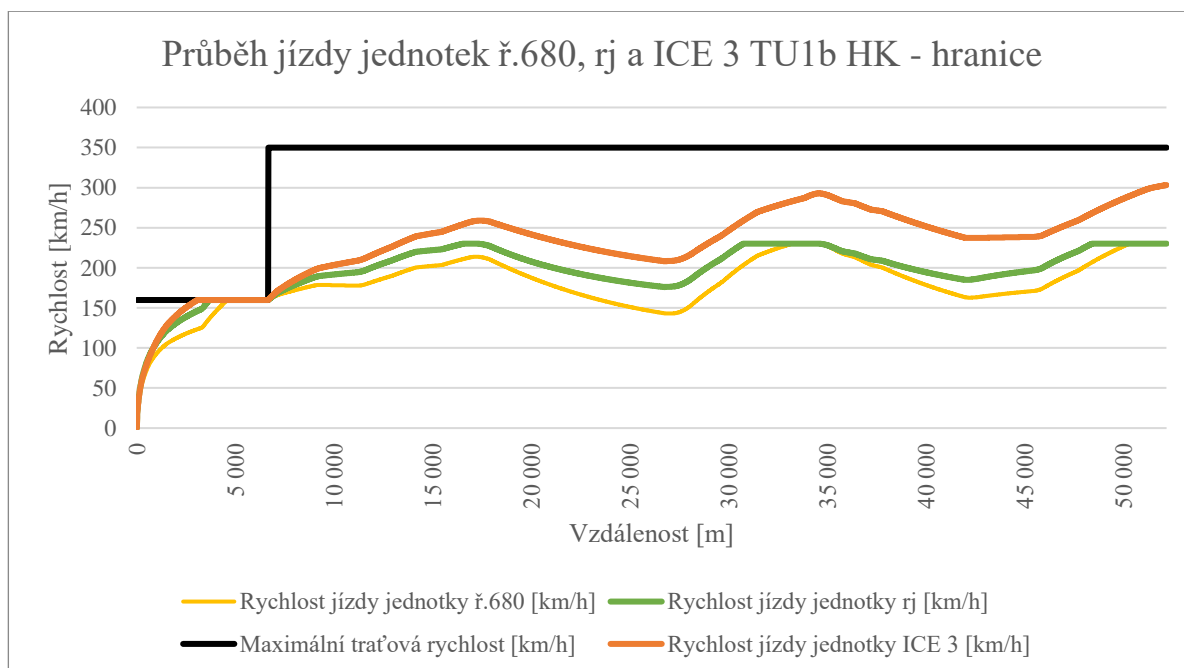
Tabulka 8: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU1a úsek začátek – hranice a opačně

vozidlo	úsek	průměrná rychlost [km/h]
ICE 3	začátek – hranice CZ/PL	293,8
	hranice CZ/PL – začátek	313,1
rj	začátek – hranice CZ/PL	219,9
	hranice CZ/PL – začátek	229,5
680	začátek – hranice CZ/PL	208,8
	hranice CZ/PL – začátek	228,6

Zdroj: Autor

V tabulce 8 jsou uvedeny hodnoty průměrných rychlostí ve variantě TU1a pro úsek začátek – konec varianty a opačně. Průměrná rychlost jednotky ICE 3 v úseku začátek – hranice činí 293,8 km/h, pro opačný směr 313,1 km/h. U jednotky rj průměrná rychlost činí 219,9 km/h pro úsek začátek – hranice, pro opačný směr 229,5 km/h. U jednotky ř.680 průměrná rychlost v úseku začátek – hranice činí 208,8 km/h a pro opačný směr 228,6 km/h.

Varianta TU1b úsek HK - hranice



Obrázek 33: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1b v úseku HK – hranice

Zdroj: Autor

Na grafu na obrázku 33 je znázorněn průběh jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3. Z grafu lze usoudit, že vlivem jízdnic odporů je ovlivněn průběh jízdy jednotek od 17. kilometru dle grafu, ve kterém dochází ke stoupání o sklonu 20 ‰ a většina úseku je vedena v tunelu. K poklesu rychlosti dochází do 27. kilometru dle grafu, ve kterém se rychlost ustálí na hodnotu 208 km/h u jednotky ICE 3, 176 km/h u jednotky rj a 143 km/h u jednotky ř.680. Vlivem klesání dochází opět k nárůstu rychlosti do 35. kilometru, odkud je opět vlivem stoupání o sklonu 20 ‰ vedeném v tunelu aktuální rychlost jednotek snižována do 42. kilometru dle grafu. V příloze 3 je uvedeno grafické znázornění průběhu jízdy jednotek v opačném směru (hranice – HK).

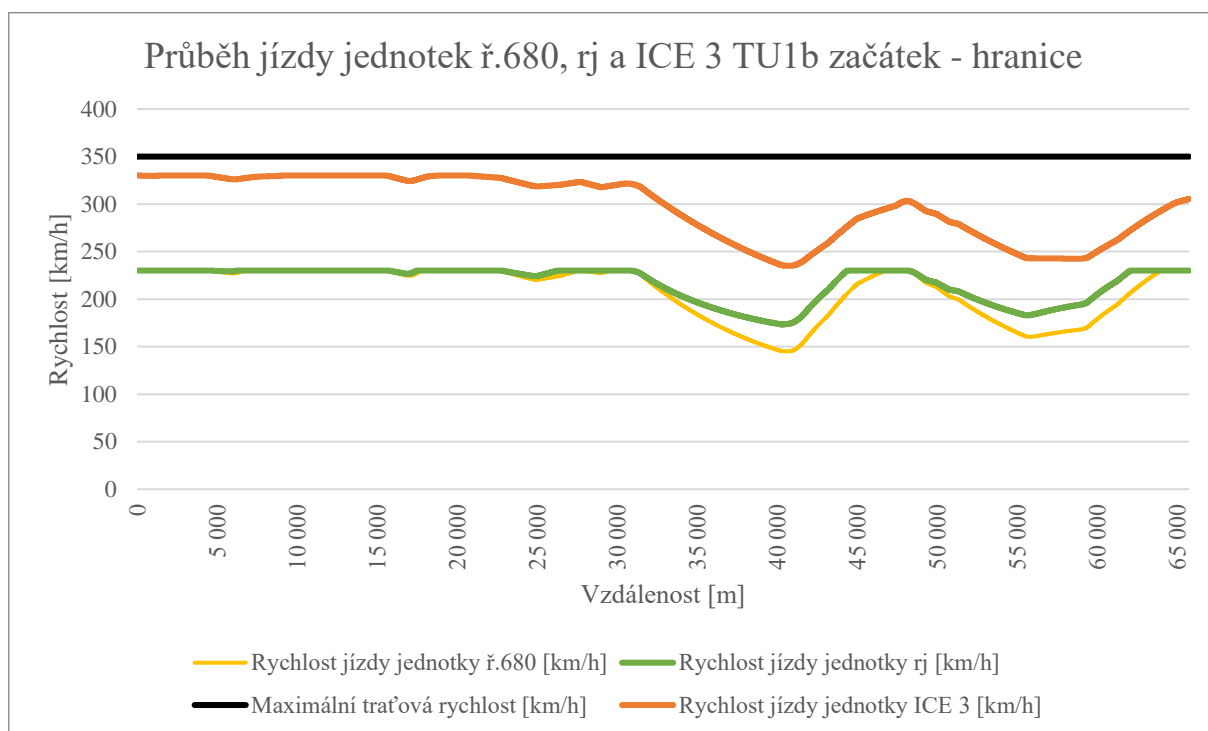
Tabulka 9: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU1b úsek HK – hranice a opačně

vozidlo	úsek	průměrná rychlost [km/h]
ICE 3	HK – hranice CZ/PL	230,7
	hranice CZ/PL – HK	283,2
rj	HK – hranice CZ/PL	197,3
	hranice CZ/PL – HK	214,9
680	HK – hranice CZ/PL	180,7
	hranice CZ/PL – HK	211,6

Zdroj: Autor

V tabulce 9 jsou uvedeny hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU1b pro úsek HK – hranice a opačně. Průměrná rychlost u jednotky ICE 3 v úseku HK – hranice činí 230,7 km/h , pro opačný směr 283,2 km/h. U jednotky rj činí průměrná rychlost v úseku HK – hranice 197,3 km/h, pro opačný směr 214,9 km/h. U jednotky ř.680 činí průměrná rychlost v úseku HK – hranice 180,7 km/h a v opačném směru 211,6 km/h.

Varianta TU1b úsek začátek - hranice



Obrázek 34: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU1b v úseku začátek - hranice

Zdroj: Autor

Na grafu na obrázku 34 je grafické znázorněn průběh jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU1b v úseku začátek – hranice. Přibližně do 31. kilometru dle grafu je průběh jízd jednotek na hraně konstrukční rychlosti a jízdní odpory rychlost výrazně neomezují. Další průběh je totožný s grafem na obrázku 33. Graf průběhu jízdy jednotek v opačném směru (hranice – začátek úseku) je uveden v příloze 4.

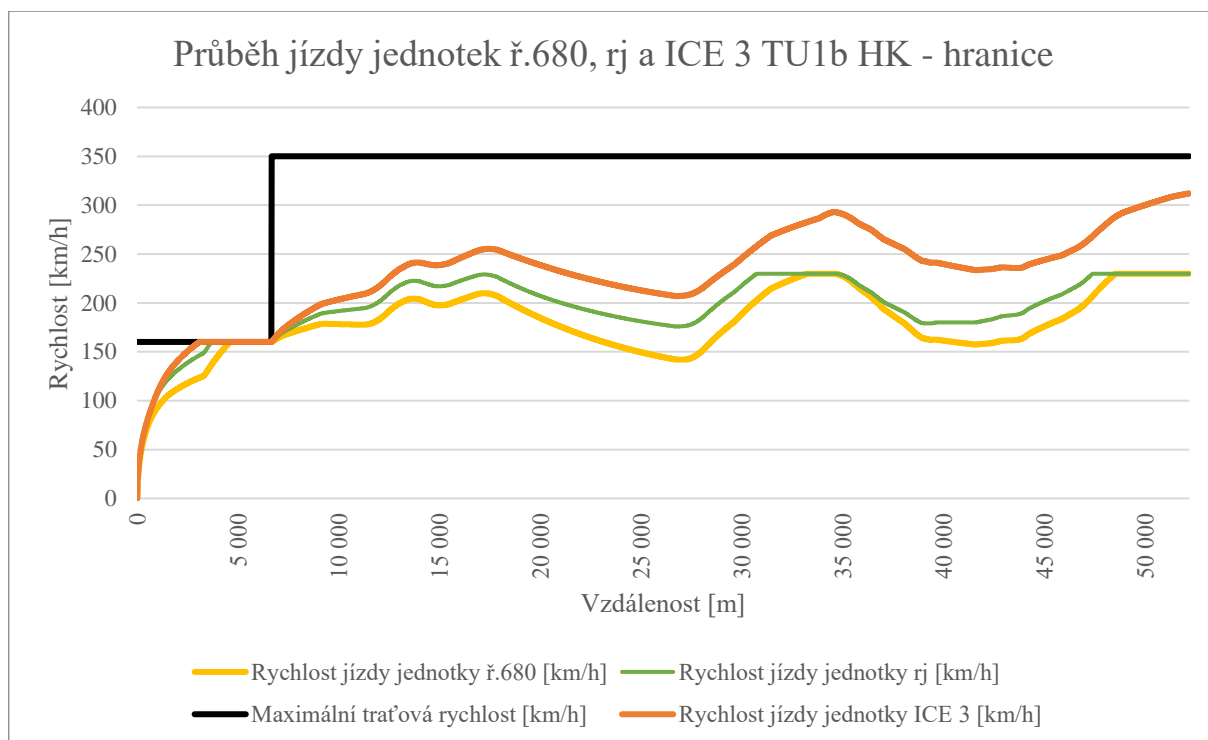
Tabulka 10: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU1b úsek začátek – hranice a opačně

vozidlo	úsek	průměrná rychlost [km/h]
ICE 3	začátek - hranice CZ/PL	297,0
	hranice CZ/PL - začátek	316,8
rj	začátek - hranice CZ/PL	217,0
	hranice CZ/PL - začátek	227,3
680	začátek - hranice CZ/PL	208,5
	hranice CZ/PL - začátek	225,3

Zdroj: Autor

V tabulce 10 jsou uvedeny hodnoty průměrných rychlostí u jednotek pro úseky začátek – hranice a opačně. Průměrná rychlost jednotky ICE 3 v úseku začátek – hranice činí 297 km/h a pro opačný směr 316,8 km/h. U jednotky rj činí průměrná rychlost v úseku začátek – hranice 217 km/h a pro opačný směr 227,3 km/h. U jednotky ř.680 činí průměrná rychlost v úseku začátek – hranice 208,5 km/h a pro opačný směr 225,3 km/h.

Varianta TU1b-alt úsek HK - hranice



Obrázek 35: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU1b-alt v úseku HK – hranice

Zdroj: Autor

Na grafu na obrázku 35 je znázorněn průběh jízdy jednotek ř. 680, rj a ICE 3 ve variantě TU1b-alt v úseku HK – hranice. Dle grafu lze usoudit, že vlivem jízdnicích odporů dochází v oblasti 17. kilometru až do 27. kilometru dle grafu k poklesu rychlosti zapříčiněným úsekem s dlouhými tunely ve sklonu 20 % na hodnoty 142 km/h u jednotky ř.680, 176 km/h u jednotky rj a 207 km/h u jednotky ICE 3. Další problematický je úsek mezi 34. a 43. kilometrem, ve kterém jednotky opět sníží a ustálí rychlost vlivem dlouhých tunelů a stoupání o sklonu 35 %. Graf průběhu jízdy jednotek v opačném směru (hranice – HK) je uveden v příloze 5.

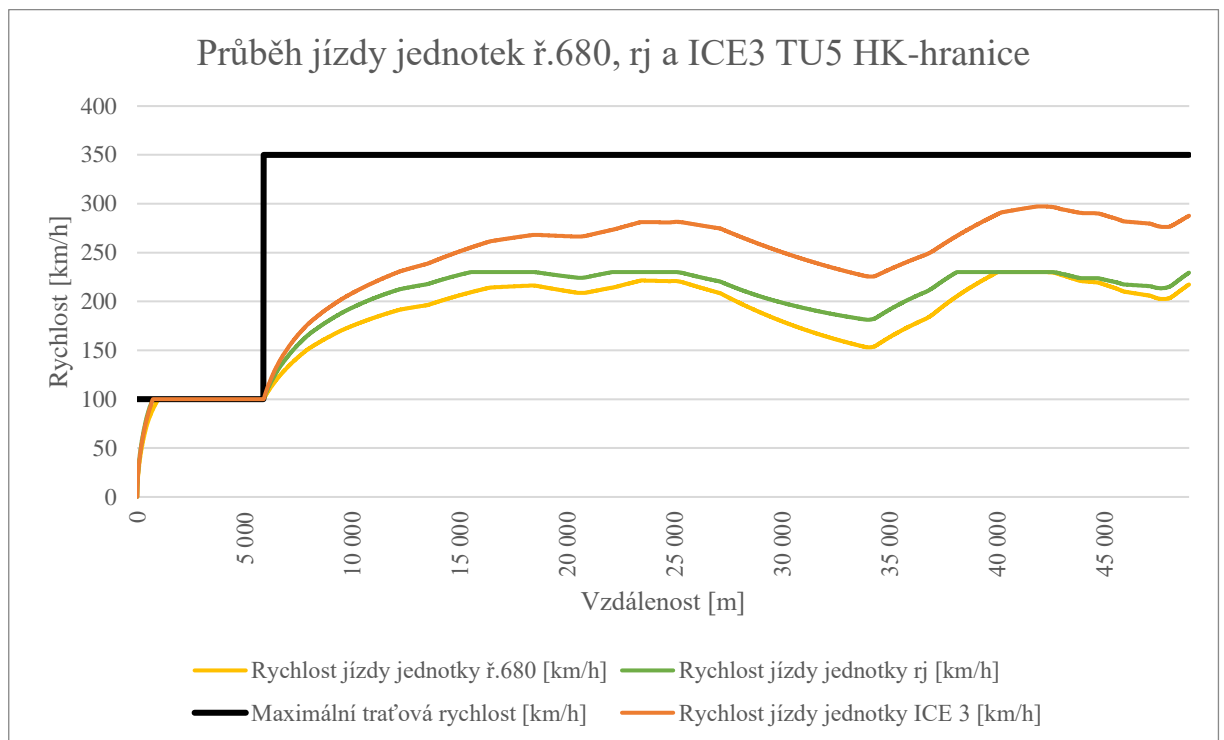
Tabulka 11: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU1b-alt úsek HK – hranice a opačně

vozidlo	úsek	průměrná rychlost [km/h]
ICE 3	HK - hranice CZ/PL	230,5
	hranice CZ/PL - HK	283,3
jednotka rj	HK - hranice CZ/PL	196,2
	hranice CZ/PL - HK	213,9
680	HK - hranice CZ/PL	179,5
	hranice CZ/PL - HK	210,3

Zdroj: Autor

V tabulce 11 jsou uvedeny hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU1b-alt pro úsek HK – hranice a opačně. Průměrná rychlost u jednotky ICE 3 v úseku HK – hranice činí 230,5 km/h , pro opačný směr 283,3 km/h. U jednotky rj činí průměrná rychlost v úseku HK – hranice 196,2 km/h, pro opačný směr 213,9 km/h. U jednotky ř.680 činí průměrná rychlost v úseku HK – hranice 179,5 km/h a v opačném směru 210,3 km/h.

Varianta TU5 úsek HK - hranice



Obrázek 36: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU5 v úseku HK – hranice

Zdroj: Autor

Na grafu na obrázku 36 je znázorněn průběh jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU5 pro úsek HK - hranice.K výraznému ovlivnění průběhu jízdy jednotek dochází vlivem jízdnicích odporů od 25. kilometru do 34. kilometru dle grafu, od kterého vlivem úseku v tunelu ve stoupání 19,593 ‰ je rychlost snižována na hodnoty 153 km/h u jednotky ř.680, 181 km/h u jednotky rj a 225 km/h u jednotky ICE 3.V kratším úseku od 42. do 44. kilometru ve stoupání dle grafu průběh jízdy jednotek výrazněji neovlivní. V příloze 6 je uvedeno grafické znázornění průběhu jízd jednotek v opačném směru (hranice – HK).

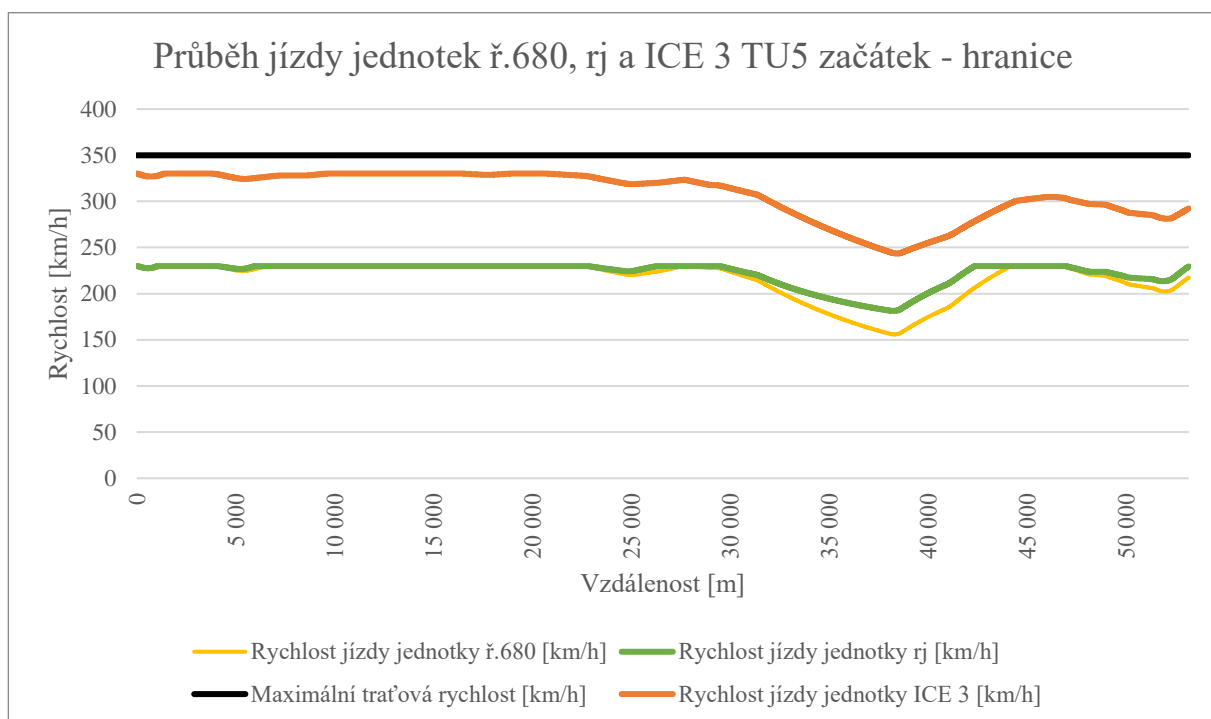
Tabulka 12: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU5 úsek HK – hranice a opačně

vozidlo	úsek	průměrná rychlost [km/h]
ICE 3	HK - hranice CZ/PL	235,1
	hranice CZ/PL - HK	276,4
rj	HK - hranice CZ/PL	197,8
	hranice CZ/PL - HK	208,5
680	HK - hranice CZ/PL	184,5
	hranice CZ/PL - HK	206,2

Zdroj: Autor

V tabulce 12 jsou uvedeny hodnoty průměrných rychlostí ve variantě TU5 pro úsek HK – konec varianty a opačně. Průměrná rychlost jednotky ICE 3 v úseku HK – hranice činí 235,1 km/h, pro opačný směr 276,4 km/h. U jednotky rj průměrná rychlost činí 197,8 km/h pro úsek HK – hranice, pro opačný směr 208,5 km/h. U jednotky ř.680 průměrná rychlost v úseku HK – hranice činí 184,5 km/h a pro opačný směr 206,2 km/h.

Varianta TU5 úsek začátek - hranice



Obrázek 37: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU5 v úseku začátek – hranice

Zdroj: Autor

Na grafu na obrázku 37 je znázorněn průběh jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU5 v úseku začátek – hranice. Dle grafu lze usoudit, že průběh jízdy jednotek do 29. kilometru dle grafu je na hraně konstrukční rychlosti, dále dochází vlivem jízdnicích odporů k poklesu rychlosti jako na grafu u obrázku 36. Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek v opačném směru (hranice – začátek varianty) je uvedeno v příloze 7.

Tabulka 13: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU5 úsek začátek – hranice a opačně

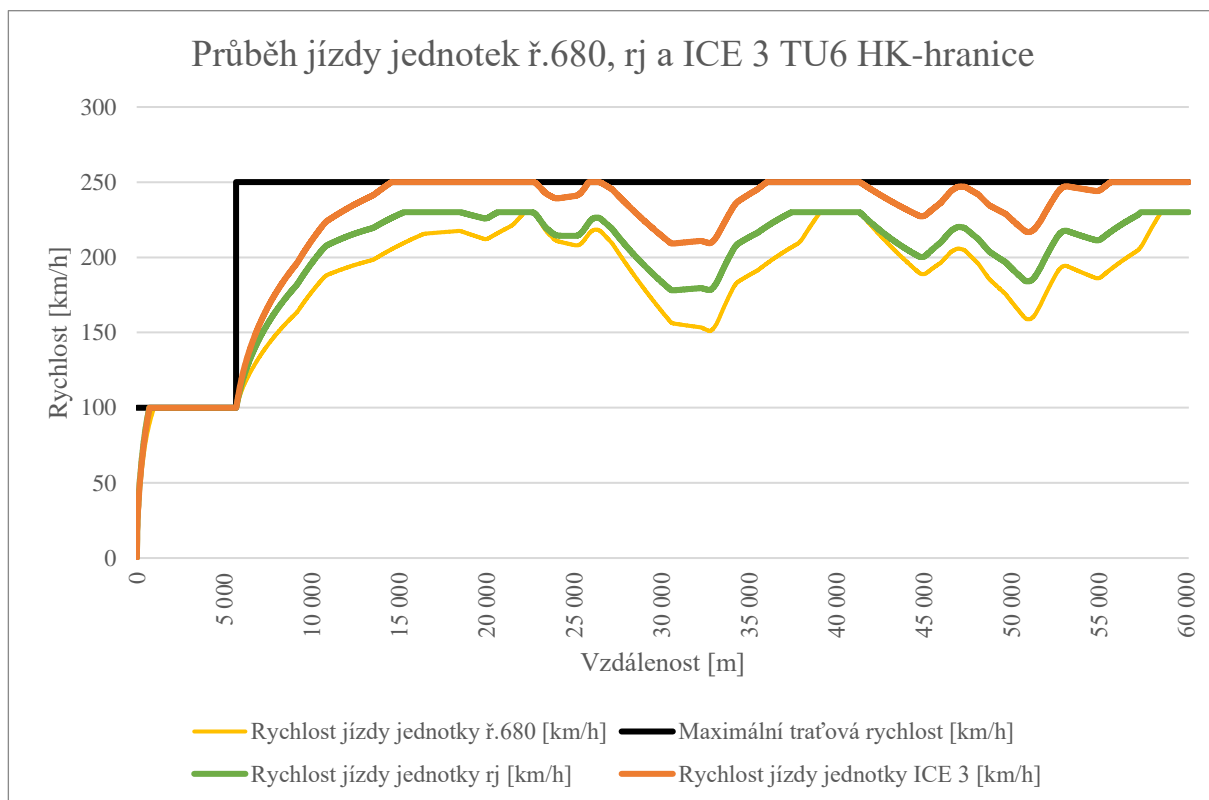
vozidlo	úsek	průměrná rychlost [km/h]
ICE 3	začátek – hranice CZ/PL	307,4
	hranice CZ/PL – začátek	316,8
rj	začátek – hranice CZ/PL	222,2
	hranice CZ/PL – začátek	227,9
680	začátek – hranice CZ/PL	216,3
	hranice CZ/PL – začátek	225,1

Zdroj: Autor

V tabulce 13 jsou uvedeny hodnoty průměrných rychlostí ve variantě TU5 pro úsek začátek – konec varianty a opačně. Průměrná rychlost jednotky ICE 3 v úseku začátek – hranice

činí 307,4 km/h, pro opačný směr 316,8 km/h. U jednotky rj průměrná rychlost činí 222,2 km/h pro úsek začátek – hranice, pro opačný směr 227,9 km/h. U jednotky ř.680 průměrná rychlost v úseku začátek – hranice činí 216,3 km/h a pro opačný směr 225,1 km/h.

Varianta TU6 úsek HK - hranice



Obrázek 38: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU6 v úseku HK – hranice

Zdroj: Autor

Na grafu na obrázku 38 je znázorněn průběh jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU6 v úseku HK – hranice. Dle grafu lze usoudit, že vlivem jízdnicích odporů dochází v oblasti 26. kilometru až do 32. kilometru dle grafu k poklesu rychlosti zapříčiněným úsekem s dlouhými tunely ve sklonu 30 ‰ na hodnoty 151 km/h u jednotky ř.680, 178 km/h u jednotky rj a 209 km/h u jednotky ICE 3. Další více problematický je úsek mezi 47. a 51. kilometrem, ve kterém jednotky opět sníží a ustálí rychlost vlivem dlouhých tunelů a stoupání o sklonu 30 ‰. Graf průběhu jízdy jednotek v opačném směru (hranice – HK) je uveden v příloze 8

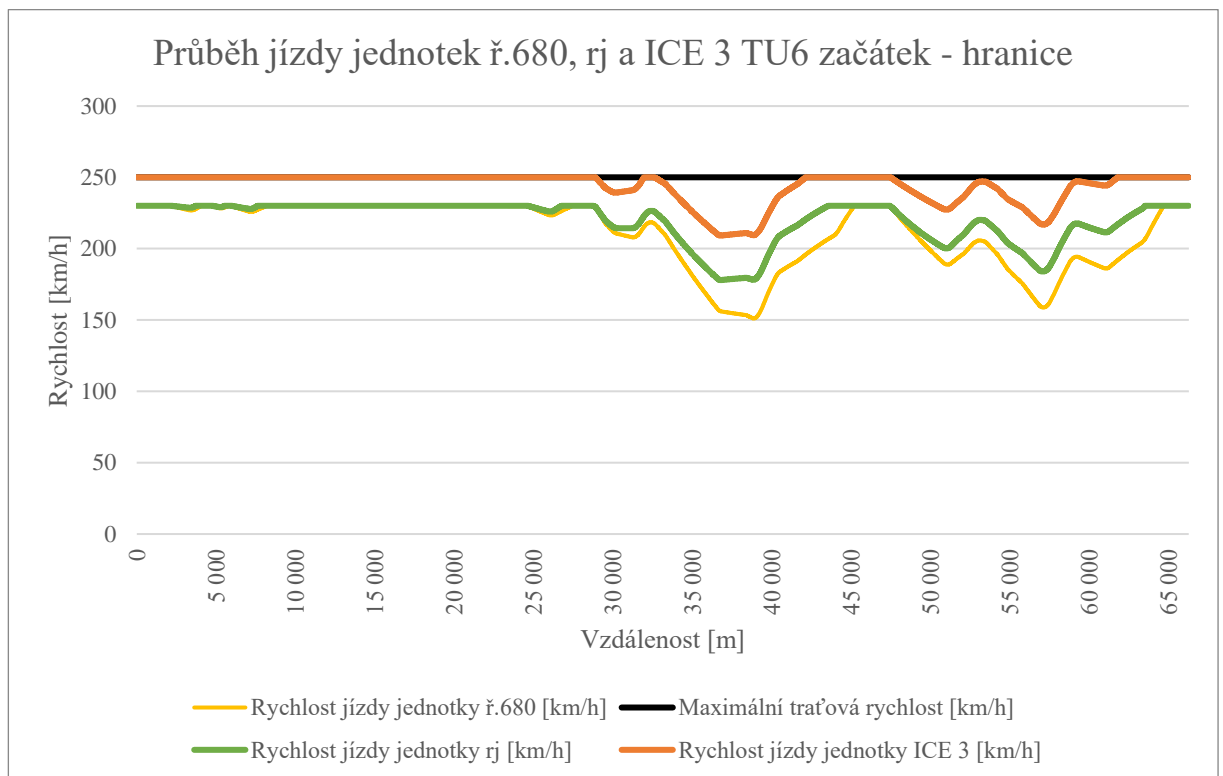
Tabulka 14: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU6 úsek HK – hranice a opačně

vozidlo	úsek	průměrná rychlost [km/h]
ICE 3	HK – hranice CZ/PL	221,1
	hranice CZ/PL – HK	230,9
rj	HK – hranice CZ/PL	199,5
	hranice CZ/PL – HK	212,1
680	HK – hranice CZ/PL	185,8
	hranice CZ/PL – HK	209,8

.Zdroj: Autor

V tabulce 14 jsou uvedeny hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU6 pro úsek HK – hranice a opačně. Průměrná rychlost u jednotky ICE 3 v úseku HK – hranice činí 221,1 km/h , pro opačný směr 230,9 km/h. U jednotky rj činí průměrná rychlost v úseku HK – hranice 199,5 km/h, pro opačný směr 212,1 km/h. U jednotky ř.680 činí průměrná rychlost v úseku HK – hranice 185,8 km/h a v opačném směru 209,8 km/h.

Varianta TU6 úsek začátek - hranice



Obrázek 39: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU6 v úseku začátek – hranice

Zdroj: Autor

Na grafu na obrázku 39 je znázorněn průběh jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU6 v úseku začátek – hranice. Dle grafu lze usoudit, že průběh jízdy jednotek do 29. kilometru dle grafu je na hraně konstrukční, respektive traťové rychlosti. V dalším úseku dochází vlivem jízdnicích odporů ke snižování rychlosti dle grafu na obrázku 38. Grafické znázornění průběhu jízdy v opačném směru (hranice – začátek) je znázorněn v příloze 9.

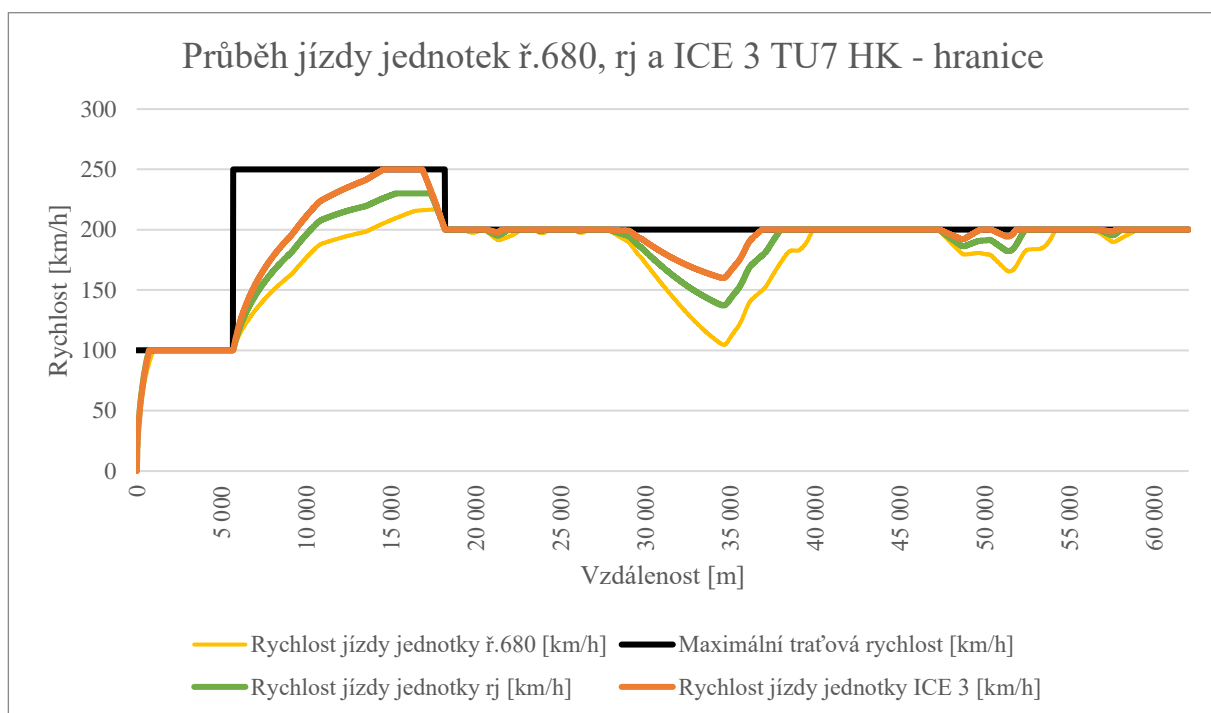
Tabulka 15: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU6 úsek začátek - hranice

vozidlo	úsek	průměrná rychlost [km/h]
ICE 3	začátek - hranice CZ/PL	243,5
	hranice CZ/PL - začátek	248,9
rj	začátek - hranice CZ/PL	219,6
	hranice CZ/PL - začátek	227,6
680	začátek - hranice CZ/PL	210,9
	hranice CZ/PL - začátek	225,5

Zdroj: Autor

V tabulce 15 jsou uvedeny hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU6 pro úsek začátek – hranice a opačně. Na základě modelu bylo zjištěno, že průměrná rychlost u jednotky ICE 3 v úseku začátek – hranice je 243,5 km/h, pro opačný směr 248,9 km/h. U jednotky rj je průměrná rychlost v úseku začátek – hranice 219,6 km/h a pro opačný směr 227,6 km/h. U jednotky ř.680 je průměrná rychlost v úseku začátek – hranice 210,9 km/h a pro opačný směr 225,5 km/h.

Varianta TU7 úsek HK - hranice



Obrázek 40: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU7 v úseku HK – hranice

Zdroj: Autor

Na grafu na obrázku 40 je znázorněn průběh jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU7 v úseku HK – hranice. Dle grafu je zřejmé, že jízdni odpory výrazně ovlivní průběh jízdy jednotek v úseku od 29. do 34. km dle grafu, ve kterém je trať vedena v tunelu a stoupání o sklonu 35 %. Rychlost jednotek na konci tohoto úseku je snížena na hodnotu 104 km/h u jednotky ř.680, 137 km/h u jednotky rj a 160 km/h u jednotky ICE 3. Graf průběhu jízdy jednotek v opačném směru (hranice – HK) je uveden v příloze 10.

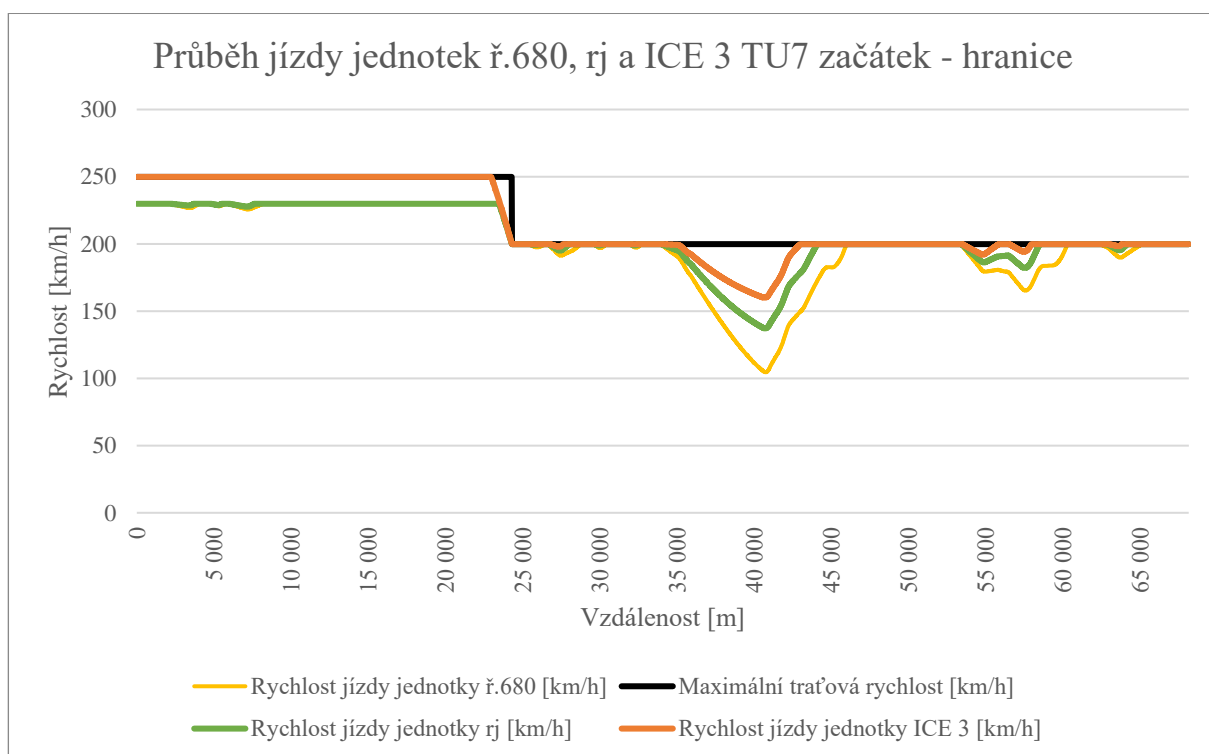
Tabulka 16: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU7 úsek HK – hranice a opačně

vozidlo	úsek	průměrná rychlost [km/h]
ICE 3	HK – hranice CZ/PL	190,0
	hranice CZ/PL – HK	195,7
rj	HK – hranice CZ/PL	184,0
	hranice CZ/PL – HK	192,8
680	HK – hranice CZ/PL	175,2
	hranice CZ/PL – HK	190,8

Zdroj: Autor

V tabulce 16 jsou uvedeny hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU7 v úseku HK – hranice a naopak. Na základě modelu bylo zjištěno, že průměrná rychlost u jednotky ICE 3 v úseku HK – hranice je 190 km/h, pro opačný směr 195,7 km/h. U jednotky rj je průměrná rychlost v úseku HK – hranice 184 km/h a pro opačný směr 192,8 km/h. U jednotky ř.680 je průměrná rychlost v úseku HK – hranice 175,2 km/h a pro opačný směr 190,8 km/h.

Varianta TU7 úsek začátek - hranice



Obrázek 41: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 ve variantě TU7 v úseku začátek – hranice

Zdroj: Autor

Na grafu na obrázku 41 je znázorněn průběh jízdy jednotek ř. 680, rj a ICE 3 ve variantě TU7 v úseku začátek – hranice. Průběh jízdy jednotek do 35. kilometru dle grafu je na hraně konstrukční, respektive traťové rychlosti. Dále je průběh totožný s grafem na obrázku 40. Graf průběhu jízdy jednotek v opačném směru (hranice – začátek) je uveden v příloze 11.

Tabulka 17: Hodnoty průměrných rychlostí u jednotek ve variantě TU7 úsek začátek – hranice a opačně

vozidlo	úsek	průměrná rychlost [km/h]
ICE 3	začátek – hranice CZ/PL	214,5
	hranice CZ/PL – začátek	216,3
rj	začátek – hranice CZ/PL	204,9
	hranice CZ/PL – začátek	209,6
680	začátek – hranice CZ/PL	199,8
	hranice CZ/PL – začátek	207,8

Zdroj: Autor

V tabulce 17 jsou uvedeny hodnoty průměrných rychlostí ve variantě TU7 pro úsek začátek – hranice a opačně. Průměrná rychlost jednotky ICE 3 v úseku začátek – hranice činí 214,5 km/h, pro opačný směr 216,3 km/h. U jednotky rj průměrná rychlost činí 204,9 km/h pro úsek začátek – hranice, pro opačný směr 209,6 km/h. U jednotky ř.680 průměrná rychlost v úseku začátek – hranice činí 199,8 km/h a pro opačný směr 207,8 km/h.

3.5 VÝSTUPY ZE SIMULAČNÍHO MODELU – JÍZDNÍ DOBY

V této podkapitole autor uvádí výstupy ze simulačního modelu, kterými jsou jízdní doby, pro vozidla z kapitoly 3.1. na zmíněných trasách, uvedených v kapitole 3.2. pro úseky od terminálu HK do hranic, kde varianty končí a od začátku variant po hranice a opačně.

Tabulka 18: Jízdní doby variant ze simulačního modelu

vozidlo	úsek	jízdní doba [min]							
		TU1a	TU1b	TU1b alt	TU5	TU6	TU6alt	TU7	TU7alt
ICE 3	HK - hranice CZ/PL	14,7	14,6	14,6	14,3	17,9	15,2	20,9	17,8
	hranice CZ/PL - HK	12,3	12,2	12,2	12,7	17,2	14,7	20,4	17,3
	začátek - hranice CZ/PL	13,7	13,5		10,5	16,4	13,7	19,4	16,3
	hranice CZ/PL - začátek	12,6	12,5		10,1	16,0	13,5	19,1	16,1
rj	HK - hranice CZ/PL	16,3	16,6	16,7	16,2	19,5	16,4	21,5	18,4
	hranice CZ/PL - HK	15,1	15,3	15,4	15,6	18,5	15,7	20,6	17,6
	začátek - hranice CZ/PL	18,1	18,4		14,4	18,2	15,2	20,2	17,2
	hranice CZ/PL - začátek	17,2	17,4		14,0	17,5	14,7	19,6	16,6
680	HK - hranice CZ/PL	18,2	18,3	18,4	17,4	20,9	17,5	22,8	19,6
	hranice CZ/PL - HK	15,2	15,5	15,6	15,7	18,7	15,9	20,9	17,9
	začátek - hranice CZ/PL	19,2	19,3		15,0	19,2	15,8	21,2	17,9
	hranice CZ/PL - začátek	17,3	17,6		14,2	17,7	14,9	19,9	16,9

Zdroj: Autor

V tabulce 18 jsou uvedeny jízdní doby variant, vypočtené ze simulačního modelu. Oranžově zvýrazněné varianty jsou vedeny do přechodu u obce Královec, hnědě zvýrazněné do

přechodu u obce Královec. Pro úsek HK – hranice jsou nejnižší hodnoty pro všechny vozidla u varianty TU5, naopak nejvyšší u varianty TU7. V opačném směru nejnižší hodnoty jsou u variant TU1, nejvyšší stejně u varianty TU7. Pro úsek začátek varianty – hranice jsou nejnižší hodnoty pro všechny vozidla rovněž u varianty TU5, naopak nejvyšší u varianty TU7. V opačném směru jsou hodnoty totožně nejnižší u varianty TU5 a nejvyšší u varianty TU7. Z tabulky lze rovněž určit, že nejrychlejší jednotkou je ICE 3 a nejpomalejší je jednotka ř.680. I přesto, že jednotka ř.680 a rj mají stejnou konstrukční rychlost, tak jednotka rj má lepší jízdní vlastnosti, jak je zřejmé z grafických znázornění průběhu jízdy v kapitole 3.4. a jízdních dob. Nejmenší rozdíl jízdních dob je u jednotek ř.680 a rj v úseku hranice – začátek variant.

4 ZHODNOCENÍ VARIANT

V této kapitole autor popíše kritéria, které jsou vstupními daty do metod pro zhodnocení variant, užití metody a jejich samotné vyhodnocení.

Pro zhodnocení variant autor využívá modelu multikriteriálního hodnocení variant. Pro sestavení úlohy a samotný výpočet čerpal autor z literatury (17). Taková úloha je zadána podle parametrů:

- seznamu variant $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m\}$
- seznamu kritérií $F = \{f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_n\}$
- hodnocení variant podle jednotlivých kritérií ve tvaru kritériální matice:

$$Y = \begin{matrix} a_1 & f_1 & f_2 & \cdots & f_n \\ a_2 & y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ \vdots & y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ a_m & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ & y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{matrix}$$

Úlohu autor počítá dvěma metodami:

- metoda váženého součtu – princip maximalizace užítku
- metoda TOPSIS – princip minimalizace vzdálenosti od ideální varianty

4.1 METODA VÁŽENÉHO SOUČTU

Úloha má na začátku maximalizační a minimalizační kritéria, které je potřeba převést na maximalizační a vyloučit dominované varianty. Dalším krokem je určení ideální varianty H (nejlepší hodnoty ve všech kritériích) a bazální varianty D (nejhorší hodnoty ve všech kritériích). Tyto varianty jsou potřebné pro výpočet normalizované kritériální matice R, jež je provedena dle vztahu [15]:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - D_j}{H_j - D_j} \quad [15]$$

kde:

- r_{ij} [-] prvek normalizované kritériální matice
- y_{ij} [-] prvek kritériální matice
- D_j [-] bazální hodnota kritéria v příslušném sloupci
- H_j [-] ideální hodnota kritéria v příslušném sloupci

Posledním krokem této metody je výpočet užitku z varianty a_i . Varianta, u níž je nejvyšší hodnota užitku, je považována touto metodou za nejlepší. Hodnoty užitku variant se vypočtou dle vztahu [16]:

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^n v_j \cdot r_{ij} \quad [16]$$

kde:

- $u(a_i)$ [-] užitek z varianty a_i
- v_j [-] váha j-tého kritéria
- r_{ij} [-] prvek normalizované kritériální matice

4.2 METODA TOPSIS

U této metody je rovněž nutné předem převést všechny minimalizační kritéria na maximalizační a následně vyloučit dominované varianty. Dalším krokem je konstrukce normalizované kritériální matice R na základě vztahu [17]:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (y_{ij})^2}} \quad [17]$$

kde:

- r_{ij} [-] prvek normalizované kritériální matice
- y_{ij} [-] prvek původní kritériální matice

Z normalizované kritériální matice se provede výpočet vážené kritériální matice W na základě vztahu [18]:

$$w_{ij} = r_{ij} \cdot v_j \quad [18]$$

kde:

- w_{ij} [-] prvek vážené kritériální matice
- r_{ij} [-] prvek normalizované kritériální matice
- v_j [-] prvek původní kritériální matice

Z hodnot vážené kritériální matice se určí ideální varianta H a bazální varianta D, jenž jsou potřebné pro výpočet matice vzdálenosti variant od ideální varianty a druhé matice vzdálenosti variant od bazální varianty. Vzdálenost variant od ideální varianty se provede dle vztahu [19], vzdálenost variant od bazální varianty dle vzorce [20]:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (w_{ij} - H_j)^2} \quad [19]$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (w_{ij} - D_j)^2} \quad [20]$$

kde:

- d_i^+ [-] vzdálenost i-té varianty od ideální varianty
- d_i^- [-] vzdálenost i-té varianty od bazální varianty
- w_{ij} [-] prvek vážené kritériální matice
- H_j [-] j-tý prvek vektoru ideální varianty
- D_j [-] j-tý prvek vektoru bazální varianty

Závěrečný krok metody je výpočet relativního ukazatele vzdáleností variant od bazální varianty c_i . Nejlepší varianty dle této metody je ta, u které je nejvyšší hodnota relativního ukazatele. Výpočet relativního ukazatele je dle vzorce [21]:

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad [21]$$

kde:

- c_i [-] relativní ukazatel vzdáleností variant od bazální varianty
- d_i^+ [-] vzdálenost i-té varianty od ideální varianty
- d_i^- [-] vzdálenost i-té varianty od bazální varianty

4.3 VSTUPNÍ ÚDAJE PRO VÝPOČET

Prvním vstupním údajem je seznam variant, čímž jsou zamýšleny všechny posuzované varianty, které jsou blíže specifikovány v kapitole 2. Dalším vstupním údajem je seznam kritérií. Pro metody autor určil 4 základní kritéria, kterými jsou průměrná rychlost, jízdní doba, měrné náklady na kilometr stavby a počet sjezdů/napojení. Kritérium průměrné rychlosti je maximalizační a je uvažováno pro všechny tři jednotky ř.680, rj a ICE 3 pro úseky začátek varianty – hranice, Hradec Králové – hranice a zpět. Kritérium jízdních dob je minimalizační a je uvažováno pro všechny tři jednotky ř.680, rj a ICE 3 pro úseky začátek varianty – hranice, Hradec Králové – hranice a zpět. Kritérium měrných nákladů na kilometr je minimalizační a kritérium počtu sjezdů/napojení naopak maximalizační.

Vektor vah kritérií autor zvolil rovnoměrný pro všechny kritéria, čili hodnotu 0,25. V případě kritérií průměrných rychlostí a jízdních dob je tato hodnota rozdělena.

4.4 VÝSTUPNÍ ÚDAJE Z METOD

Výstupními údaji z těchto metod je seřazení variant od nejlépe hodnocených. V podkapitole je porovnání výstupů obou metod.

Tabulka 19: Zhodnocení všech variant metodami váženého součtu a TOPSIS

metoda váženého součtu		metoda TOPSIS	
varianta	u	varianta	c _i
TU6alt Heřmanice	0,873	TU6alt Heřmanice	0,929
TU5b	0,832	TU6alt	0,833
TU5c	0,832	TU7alt/TU7Koc	0,822
TU6alt	0,811	TU6b Heřmanice	0,822
TU5a	0,806	TU6c Heřmanice	0,822
TU6b Heřmanice	0,726	TU7alt	0,811
TU6c Heřmanice	0,726	TU6a Heřmanice	0,775
TU5d	0,692	TU6b	0,759
TU5d-alt	0,691	TU6c	0,758
TU6a Heřmanice	0,673	TU7b/TU7Koc	0,755
TU6b	0,663	TU7b	0,746
TU6c	0,663	TU5b	0,730
TU6a	0,610	TU5c	0,729
TU7alt/TU7Koc	0,569	TU5a	0,690
TU7alt	0,553	TU6a	0,669
TU4b-alt	0,546	TU7a	0,665
TU2b-alt	0,537	TU5d	0,503
TU3b-alt	0,537	TU5d-alt	0,502
TU2c-alt	0,535	TU4b-alt	0,318
TU1b-alt	0,534	TU2b-alt	0,297
TU4b	0,533	TU3b-alt	0,297
TU2b	0,525	TU2c-alt	0,293
TU3b	0,525	TU1b-alt	0,292
TU2c	0,523	TU4b	0,289
TU1b	0,523	TU2b	0,273
TU1a	0,460	TU3b	0,272
TU2a	0,450	TU2c	0,270
TU7b/TU7Koc	0,429	TU1b	0,269
TU7b	0,420	TU1a	0,210
TU3a	0,403	TU2a	0,192
TU4a	0,403	TU3a	0,132
TU7a	0,366	TU4a	0,132

Zdroj: Autor

V tabulce 19 je uvedeno zhodnocení všech variant metodami váženého součtu a TOPSIS. Varianty vedené do přechodu u obce Královec jsou označeny hnědou barvou, varianty vedené do přechodu u obce Petříkovice jsou označeny barvou růžovou. Obě metody vyhodnotily, že nejlepší variantou je TU6alt-Heřmanice, čili varianta vedená do přechodu u obce Petříkovice s maximální traťovou rychlostí 250 km/h, sjezdy, respektive napojení do Hradce Králové, Jaroměře (tratě 032), napojení z tratě 030 od Jaroměře, napojení na trať 030 ve směru Stará Paka a napojením Trutnova. Z tabulek rovněž lze vyčíst, že na základě stanovených kritérií vychází z těchto metod nejlépe základní varianty TU 5,6 a 7. Vzhledem k tomu, že varianty vedené přes obec Petříkovice jsou kratší délky a především není znám politický záměr, především ze strany Polska na preferenci vedení tratě přes přechod u Petříkovic či Královce autor použil metody i pro varianty u těchto dvou přechodů zvlášť.

Tabulka 20: Zhodnocení variant vedených přechodem u obce Královec metodami váženého součtu a TOPSIS

metoda váženého součtu		metoda TOPSIS	
varianta	u	varianta	c _i
TU6b Heřmanice	0,810	TU6b Heřmanice	0,888
TU6c Heřmanice	0,810	TU6c Heřmanice	0,888
TU6a Heřmanice	0,758	TU6a Heřmanice	0,820
TU6b	0,748	TU6b	0,807
TU6c	0,747	TU6c	0,806
TU6a	0,696	TU7b/TU7Koc	0,795
TU4b-alt	0,635	TU7b	0,789
TU2b-alt	0,624	TU6a	0,698
TU3b-alt	0,624	TU7a	0,694
TU2c-alt	0,622	TU4b-alt	0,337
TU1b-alt	0,622	TU2b-alt	0,315
TU4b	0,621	TU3b-alt	0,315
TU2b	0,612	TU2c-alt	0,310
TU3b	0,611	TU1b-alt	0,309
TU2c	0,610	TU4b	0,306
TU1b	0,610	TU2b	0,289
TU1a	0,546	TU3b	0,287
TU2a	0,536	TU2c	0,285
TU3a	0,485	TU1b	0,284
TU4a	0,485	TU1a	0,225
TU7b/TU7Koc	0,438	TU2a	0,205
TU7b	0,428	TU3a	0,142
TU7a	0,375	TU4a	0,142

Zdroj: Autor

V tabulce 20 je uvedeno zhodnocení variant vedených přechodem u obce Královec metodami váženého součtu a TOPSIS. U obou metod vyšla jako nejlepší varianta TU6b-Heřmanice, jen o trochu lépe, než metoda TU6c-Heřmanice. Varianta TU6b-Heřmanice je varianta vedená do přechodu u obce Královec s maximální traťovou rychlostí 250 km/h, sjezdy, respektive napojení do Hradce Králové, Jaroměře (tratič 032), napojení z tratič 030 od Jaroměře, napojení na tratič 030 ve směru Stará Paka a napojením Trutnova – přímo do žst. Trutnov (varianta TU6c-Heřmanice do žst. Trutnov-Poříčí).

Tabulka 21: Zhodnocení variant vedených přechodem u obce Petřikovice metodami váženého součtu a TOPSIS

metoda váženého součtu			metoda TOPSIS	
varianta	u		varianta	c _i
TU6alt Heřmanice	0,833		TU6alt Heřmanice	0,813
TU6alt	0,750		TU7alt/TU7Koc	0,794
TU5a	0,720		TU6alt	0,764
TU5b	0,703		TU7alt	0,736
TU5c	0,702		TU5a	0,544
TU5d	0,494		TU5b	0,341
TU5d-alt	0,492		TU5c	0,339
TU7alt/TU7Koc	0,417		TU5d	0,163
TU7alt	0,374		TU5d-alt	0,162

Zdroj: Autor

V tabulce 20 je uvedeno zhodnocení variant vedených přechodem u obce Petřikovice metodami váženého součtu a TOPSIS. Rovněž, jako u tabulky 19 obě metody vyhodnotily jako nejlepší variantu TU6alt-Heřmanice.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo popsat území vedení VRT/RS5 a analyzovat varianty vedení trasy v úseku Hradec Králové – státní hranice CZ/PL, navrhnout dopravní řešení simulací, včetně zjištění potřebných charakteristik jednotlivých variant k jejich zhodnocení a jejich samotné zhodnocení.

V kapitole popis území autor zjistil, že vedení trasy VRT/RS5 je uskutečněno přes 4 kraje České republiky. Hlavní město Praha, kde je začátek vedení trasy čítá 1 325 280 obyvatel, Středočeský kraj čítá 1 385 141 obyvatel, Královehradecký kraj čítá 551 647 obyvatel a Pardubický kraj čítá 552 662 počet obyvatel. Z pohledu největších měst přímo zúčastněných na vedení VRT/RS5 – Praha, Pardubice, Hradec Králové, Walbrzych a Wroclaw činí celkový počet obyvatel těch měst 2,250 milionu, z čehož největší podíl má Praha a Wroclaw. Z posouzení bylo zjištěno, že zkrácení jízdní doby z mezinárodního pohledu mezi městy Praha a Wroclaw činí ze současných 280 minut na navržených 71-86 minut bez zastavení (dle variant), respektive 95-97 minut se zastavením. U relace Praha – Warsawa činí navrhované zkrácení jízdní doby ze současných 480 minut na 180 minut při vedení relace přes Wroclaw.

Z analýzy vyplývá, že je navrženo 7 základních variant, základní varianty TU1-4 jsou téměř totožné, vzhledem k tomu, že jsou stejně koncipované – všechny varianty jsou navrženy na maximální rychlost 350 km/h, mají podobnou délku i počet kilometrů umělých staveb, varianty TUXa jsou vedeny dlouhým tunelem bez napojení na Trutnov s maximálním navrženým sklonem 15 ‰, varianty TUXb s napojením na Trutnov a maximálním navrženým sklonem 20 ‰ a varianty TUXc s napojením na Trutnov a maximálním navrženým sklonem 35 ‰. Z pohledu měrných nákladů na kilometr trasy jsou tyto varianty nejdražší, hodnotově kolem 1000-1200 mil. Kč/ km tratě.

Základní varianty TU5-7 jsou od variant TU1-4 odlišné především pro vnitrostátní význam, vzhledem ke skutečnosti, že všechny varianty kromě napojení Hradce Králové, vyjma dvou alternativních variant (TU5d a TU5d-alt) mají také napojení na Jaroměř, respektive trať 032 a na trať 030 ve směru Stará Paka. Základní varianta TU5 je levnější alternativou základních variant TU1-4. Je navržena na 350 km/h s maximálním návrhovým sklonem 20 ‰ (u varianty TU5a 25 ‰). Vůči variantám TU1-4 je trasa vedena přes hraniční přechod u obce Petříkovice a v menší míře po umělých stavbách a tím jsou tyto varianty levnější – hodnotově na úrovni 650 – 800 mil. Kč/ km tratě. U základních variant TU6 je návrhová rychlost trasy snížena na 250 km/h a maximální návrhový sklon naopak zvýšen na 30 ‰ ve všech variantách.

U každé varianty je vytvořena alternativní varianta, která započítává odbočku Heřmanice umožňující napojení stávající tratě 030 od Jaroměře. Tyto trasy mají na rozdíl od ostatních základních variant delší trasování, což má za následek v porovnání vyšší celkové investiční náklady, ale také nižší měrné na kilometr tratě (na úrovni 600-700 mil. Kč/km). Základní varianty TU7 se řadí do nejméně investičně náročných (560-630 mil. Kč/km). Návrhová rychlost trasy činí 200 km/h s maximálním návrhovým sklonem 35 ‰. V těchto variantách je trasa vedena přes nejnižší počet kilometrů umělých staveb.

V kapitole návrh dopravního řešení se autor zabývá tvorbou simulačního modelu, čili vstupními daty, vzorci a výstupy. Vstupními daty modelu jsou parametry vozidel, pro potřebu simulace byly vybrány elektrické jednotky ř.680, rj a ICE 3, parametry tratí variant, kterými jsou sklonové poměry, poloměry oblouků a existence tunelu. Pro potřebu simulace autor vybral varianty TU1 jako zástupce variant TU1-4, TU5, TU6 a TU7. Simulační model autor vytvořil v programu MS Excel na základě vzorců vyplývajících z mechaniky dopravy. Výstupy simulačního modelu jsou grafy průběhu jízdy zmíněných vozidel, průměrná rychlost a jízdní doby, které autor provádí pro úseky terminál Hradec Králové – hranice, začátek variant TU – hranice (konec variant TU) a zpět. Jednotka ICE 3 má nejlepší hodnoty průměrných rychlostí u variant TU1 a TU5, ve variantách TU6 a TU7 jsou zřetelně nižší. V případě jednotek ř.680 a rj nejsou hodnoty průměrných rychlostí ve variantách natolik výrazné, jako u ICE 3.

V kapitole zhodnocení variant autor využívá modelů multikriteriálního hodnocení variant pomocí metod váženého součtu a TOPSIS. Jako seznam kritérií zvolil průměrnou rychlost, jízdní dobu, měrné náklady na kilometr stavby a počet sjezdů/napojení. Seznamem variant jsou myšleny všechny zamýšlené varianty TU. Vektor vah kritérií autor zvolil rovnoměrný pro všechny kritéria. . Obě metody vyhodnotily, že nejlepší variantou je TU6alt-Heřmanice, čili varianta vedená do přechodu u obce Petříkovice s maximální traťovou rychlostí 250 km/h, sjezdy, respektive napojení do Hradce Králové, Jaroměře (tratě 032), napojení z tratě 030 od Jaroměře, napojení na trať 030 ve směru Stará Paka a napojením Trutnova. V případě, že by varianta měla být vedena přes přechod u obce Královec, je nejlepší variantou TU6b-Heřmanice, čili varianta vedená do přechodu u obce Královec s maximální traťovou rychlostí 250 km/h, sjezdy, respektive napojení do Hradce Králové, Jaroměře (tratě 032), napojení z tratě 030 od Jaroměře, napojení na trať 030 ve směru Stará Paka a napojením Trutnova – přímo do žst. Trutnov (varianta TU6c-Heřmanice do žst. Trutnov-Poříčí).

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

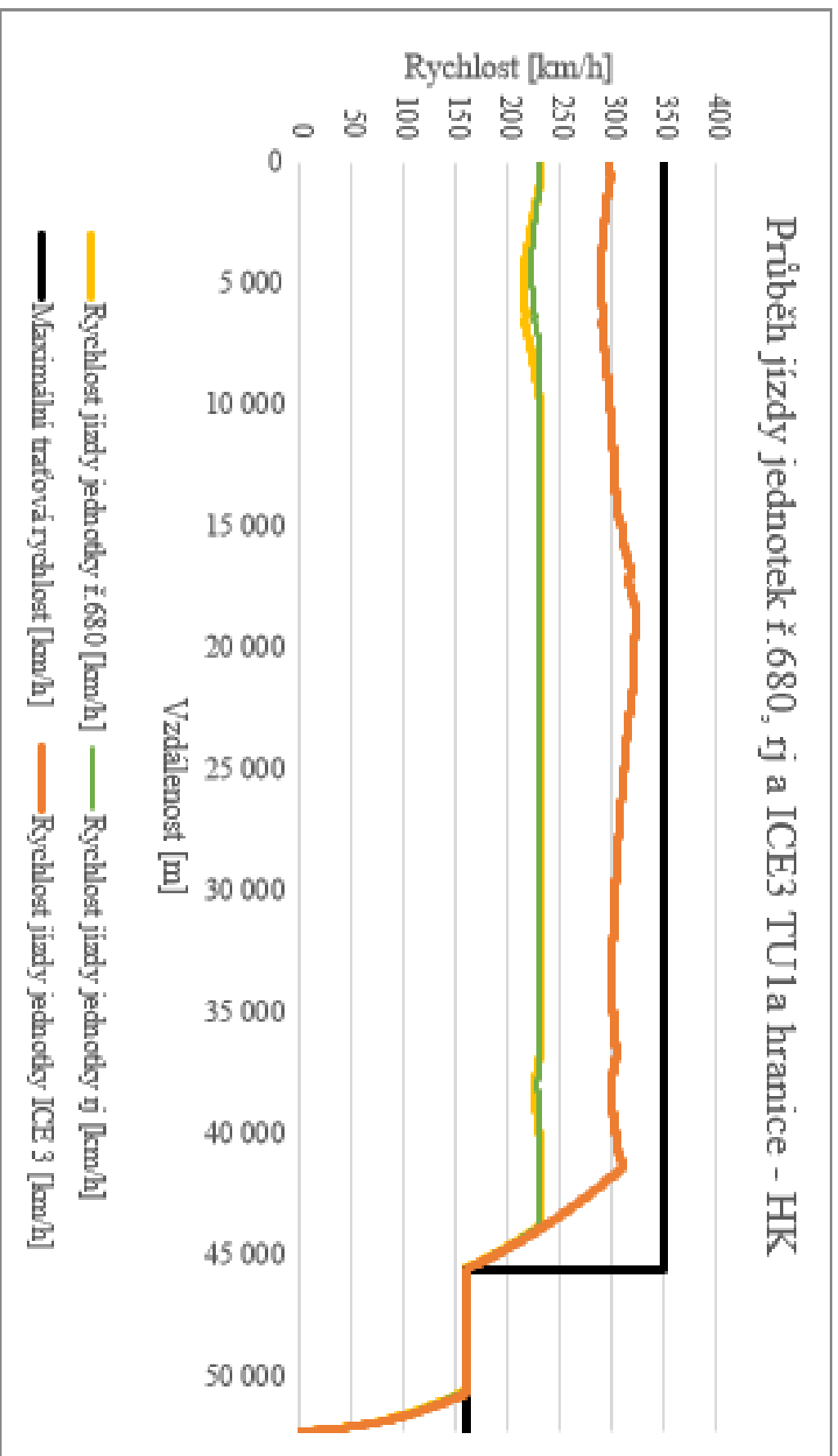
- (1) *VRT Praha - Wrocław: Analýza a doporučení pro další jednání o VRT ve směru Praha - Wrocław*. Správa železnic, s.o., 09/ 2019.
- (2) *Krajská správa ČSÚ v hl. m. Praze* [online]. [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xa/obyvatelstvo-xa>
- (3) *Charakteristika kraje* [online]. [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/13-2130-03--1__charakteristika_kraje
- (4) *Krajská správa ČSÚ pro Středočeský kraj* [online]. [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xs/obyvatelstvo-xs>
- (5) *Charakteristika kraje* [online]. [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/xh/strucna_charakteristika_kraje
- (6) *Krajská správa ČSÚ v Hradci Králové* [online]. [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xh/obyvatelstvo-xh>
- (7) *Charakteristika Pardubického kraje* [online]. [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xe/charakteristika-pardubickeho-kraje-udaje-za-rok-2018>
- (8) *Krajská správa ČSÚ v Pardubicích* [online]. [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xe/obyvatelstvo-xe>
- (9) *Dálnice D11* [online]. [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: <http://www.ceskedalnice.cz/dalnice/d11/>
- (10) *Novostavba vysokorychlostní tratě ve tvaru „Y“* [online]. [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: <https://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/vysokorychlostni-zeleznicni-doprava-v-polsku/>
- (11) *Spojení* [online]. [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: <https://idos.idnes.cz/vlakyautobusymhdvse/spojeni/>
- (12) *Hledání map* [online]. [cit. 2020-11-22]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.3325360&y=50.0522810&z=11>
- (13) *Vyhledávací studie VRT/RS5 Praha-Hradec Králové/Liberec – státní hranice CZ/PL*, interní dokumenty Správa železnic s.o.
- (14) *Program Opentrack*
- (15) ZELENKA, Jaromír, Tomáš MICHÁLEK a Martin KOHOUT. *Mechanika dopravy: studijní opora*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, dislokované pracoviště Česká Třebová, 2013. ISBN 978 – 80 – 7395 – 739 – 1

- (16) SLÁDEK, František. *Zlepšení organizace železniční osobní dopravy na trati Studénka – Veřovice*. Pardubice, 2019. Bakalářská práce. Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Petr Nachtigall PhD.
- (17) BULÍČEK, Josef a Michaela LEDVINOVÁ. *Řešené příklady z teorie a řízení dopravy: studijní opora*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-642-4.
- (18) KULIČKA, Jiří. *Elementární algoritmy aplikované matematiky: studijní opora*. Vydání druhé. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2016. ISBN 978-80-7395-972-2.
- (19) *Vysokorychlostní železnice v ČR* [online]. [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznice.cz/vrt/co-je-vrt/vrt-v-cr>

SEZNAM PŘÍLOH

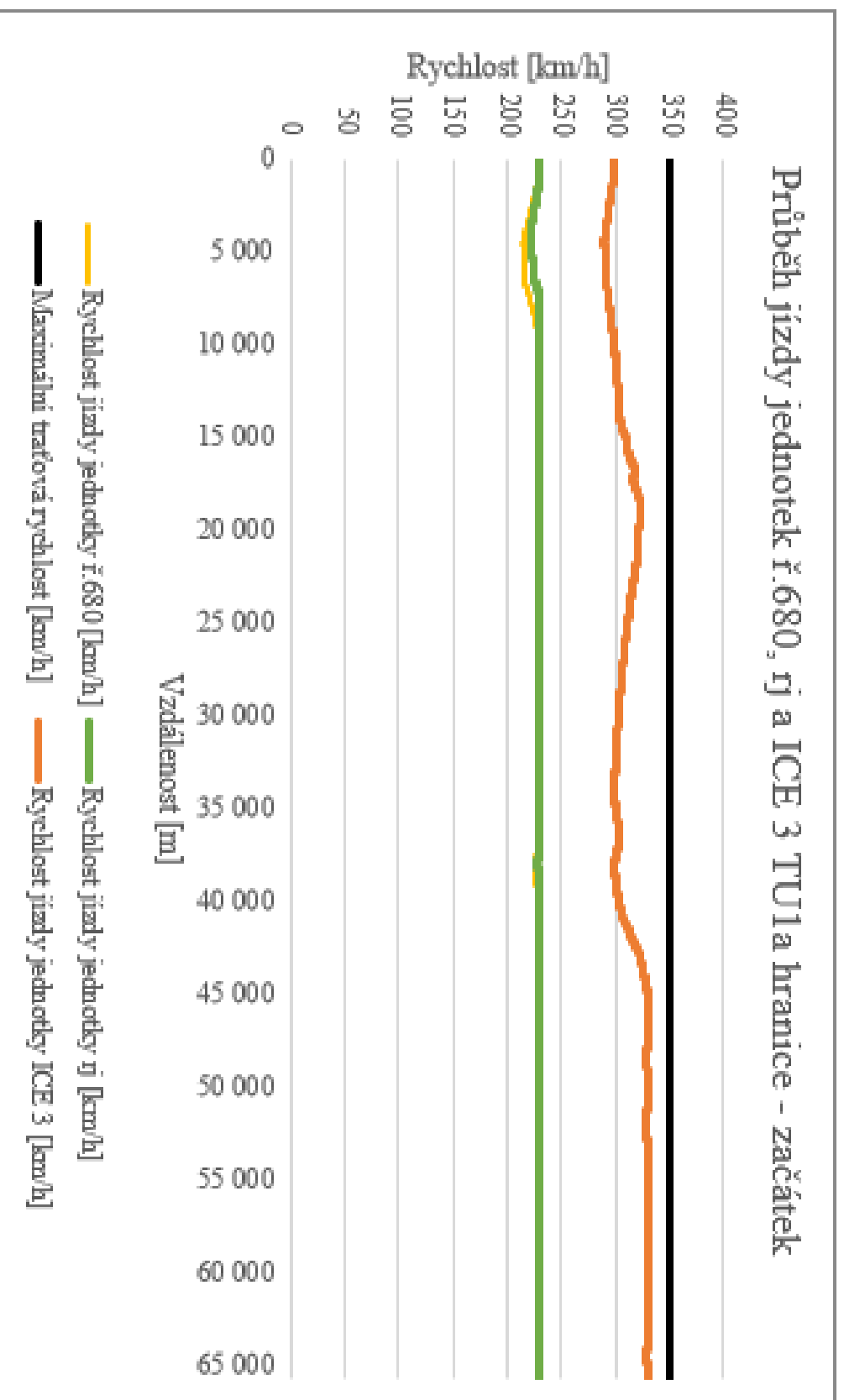
Příloha 1: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1a v úseku hranice – HK	- 82 -
Příloha 2: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1a v úseku hranice – začátek.....	- 83 -
Příloha 3: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1b v úseku hranice – HK	- 84 -
Příloha 4: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1b v úseku hranice – začátek.....	- 85 -
Příloha 5: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1b-alt v úseku hranice – HK	- 86 -
Příloha 6: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU5 v úseku hranice - HK.....	- 87 -
Příloha 7: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU5 v úseku hranice – začátek.....	- 88 -
Příloha 8: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU6 v úseku hranice – HK	- 89 -
Příloha 9: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU6 v úseku hranice – začátek.....	- 90 -
Příloha 10: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU7 v úseku hranice – HK	- 91 -
Příloha 11: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU7 v úseku hranice – začátek.....	- 92 -
Příloha 12: Mapa VRT/RS5 v úsecích	- 93 -

Průběh jízdy jednotek ř.680, rj a ICE3 TU1a hranice - HK



Příloha 1: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1a v úseku hranice – HK

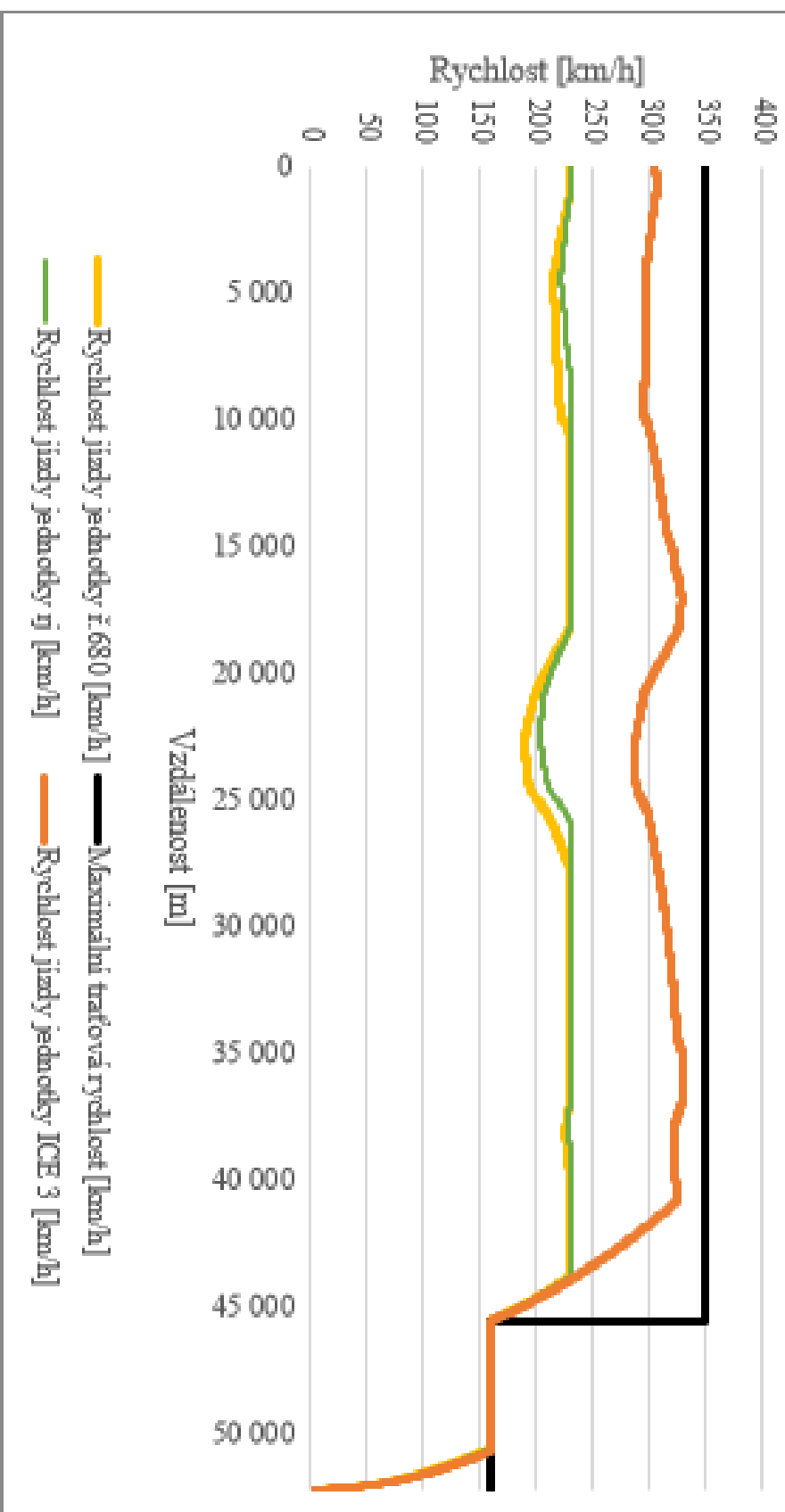
Zdroj: Autor



Příloha 2: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1a v úseku hranice – začátek

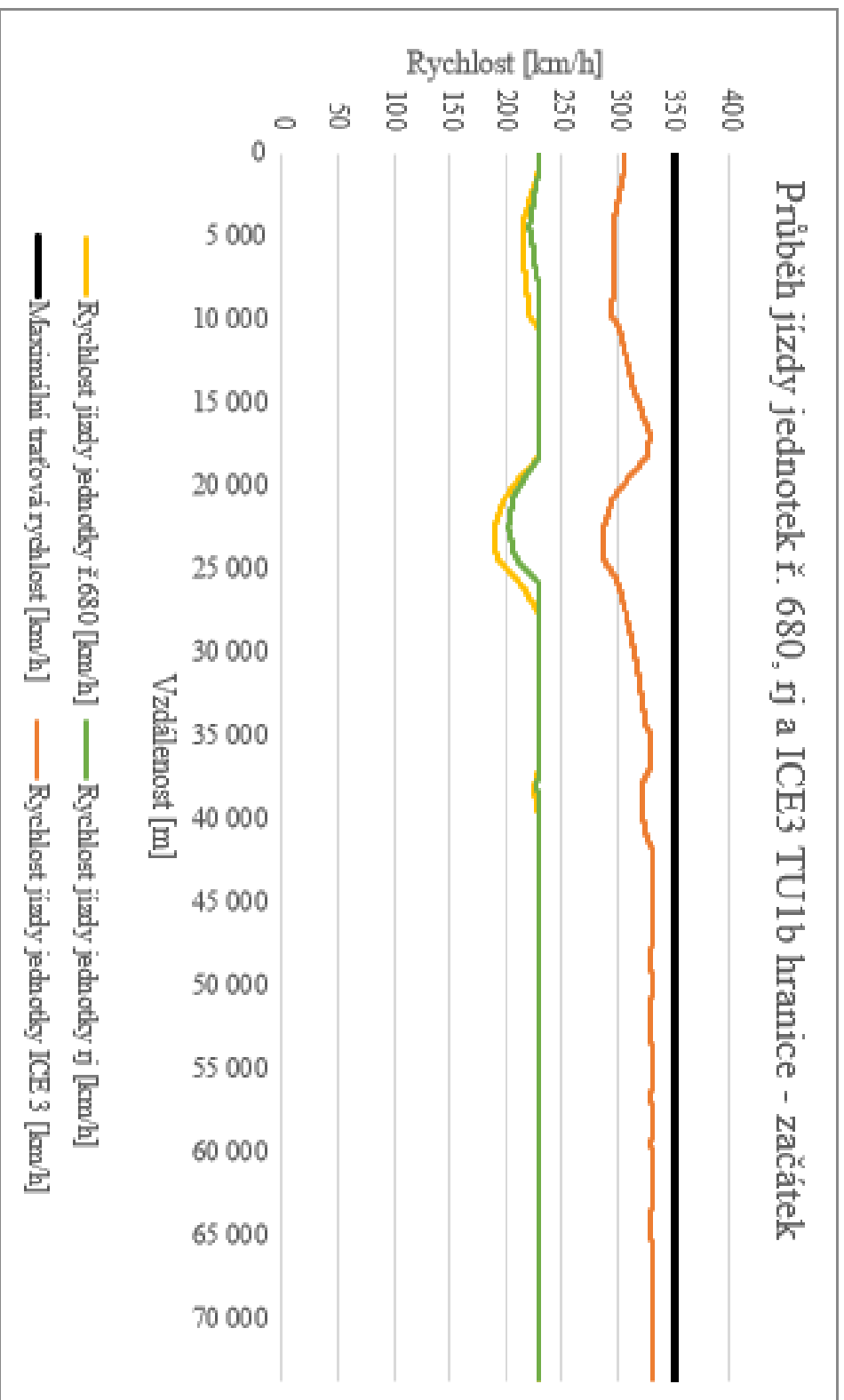
Zdroj: Autor

Průběh jízdy jednotek ř. 680, rj a ICE 3 TU1b hranice - HK



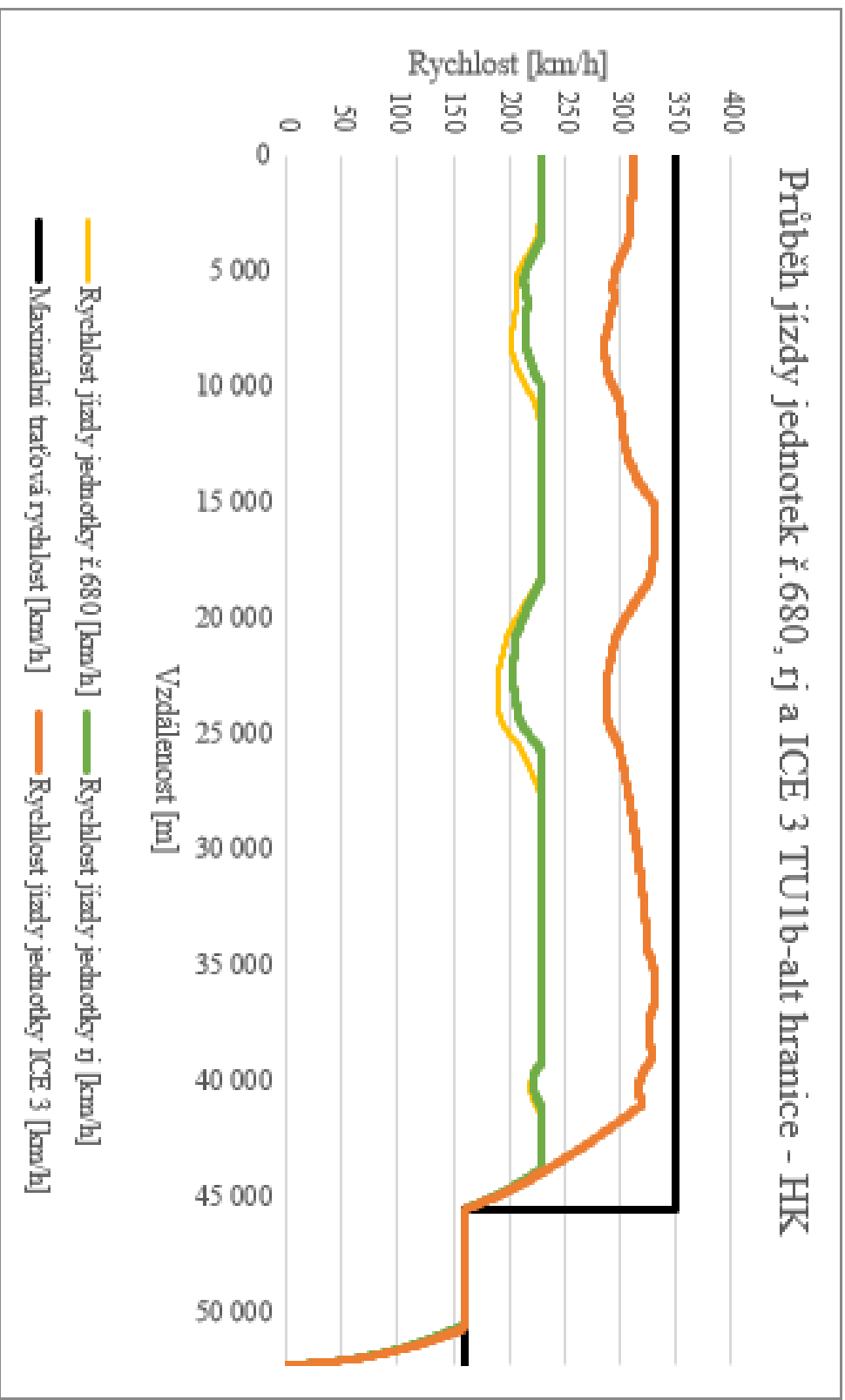
Príloha 3: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1b v úseku hranice – HK

Zdroj: Autor



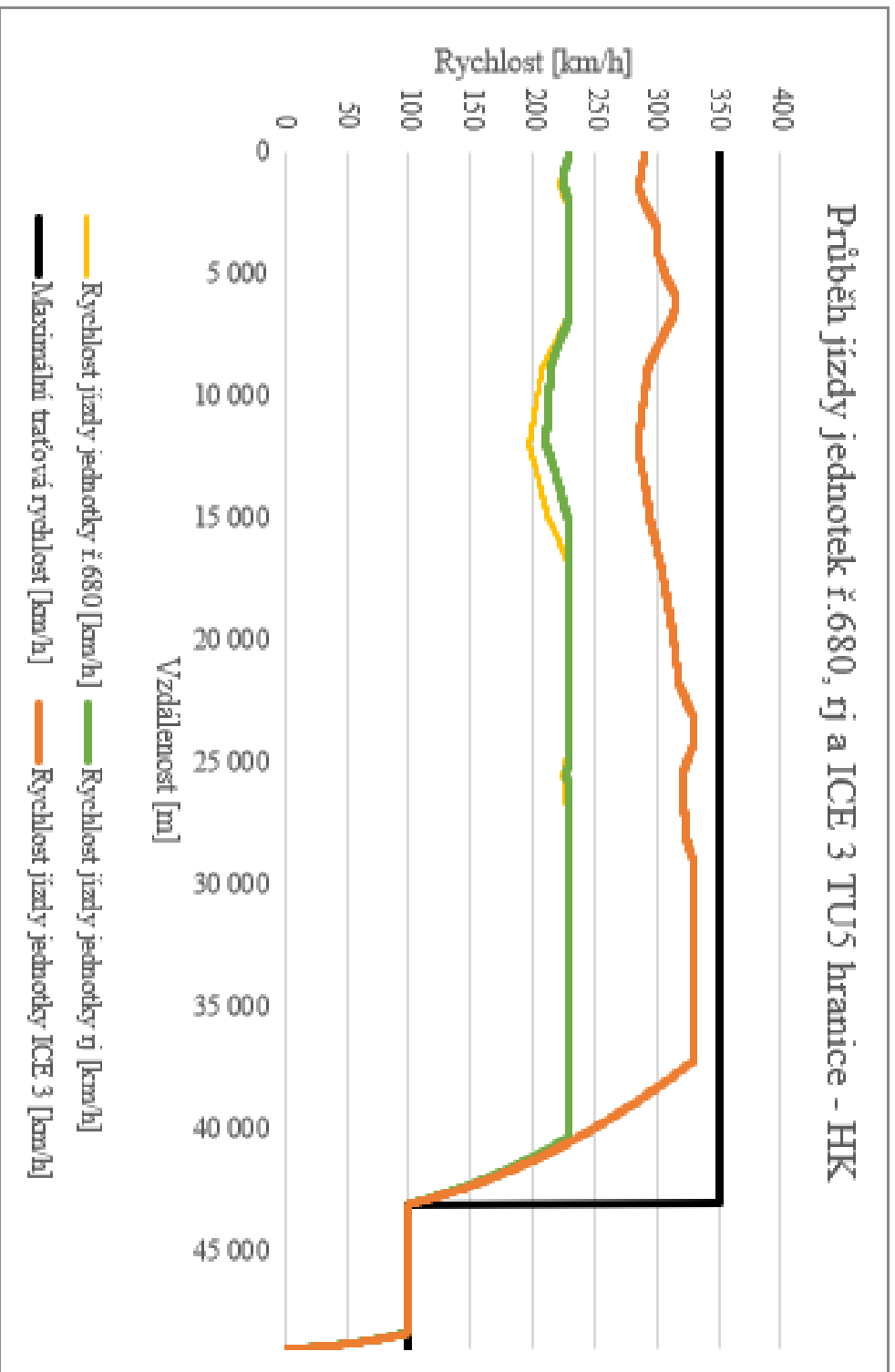
Příloha 4: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1b v úseku hranice – začátek

Zdroj: Autor



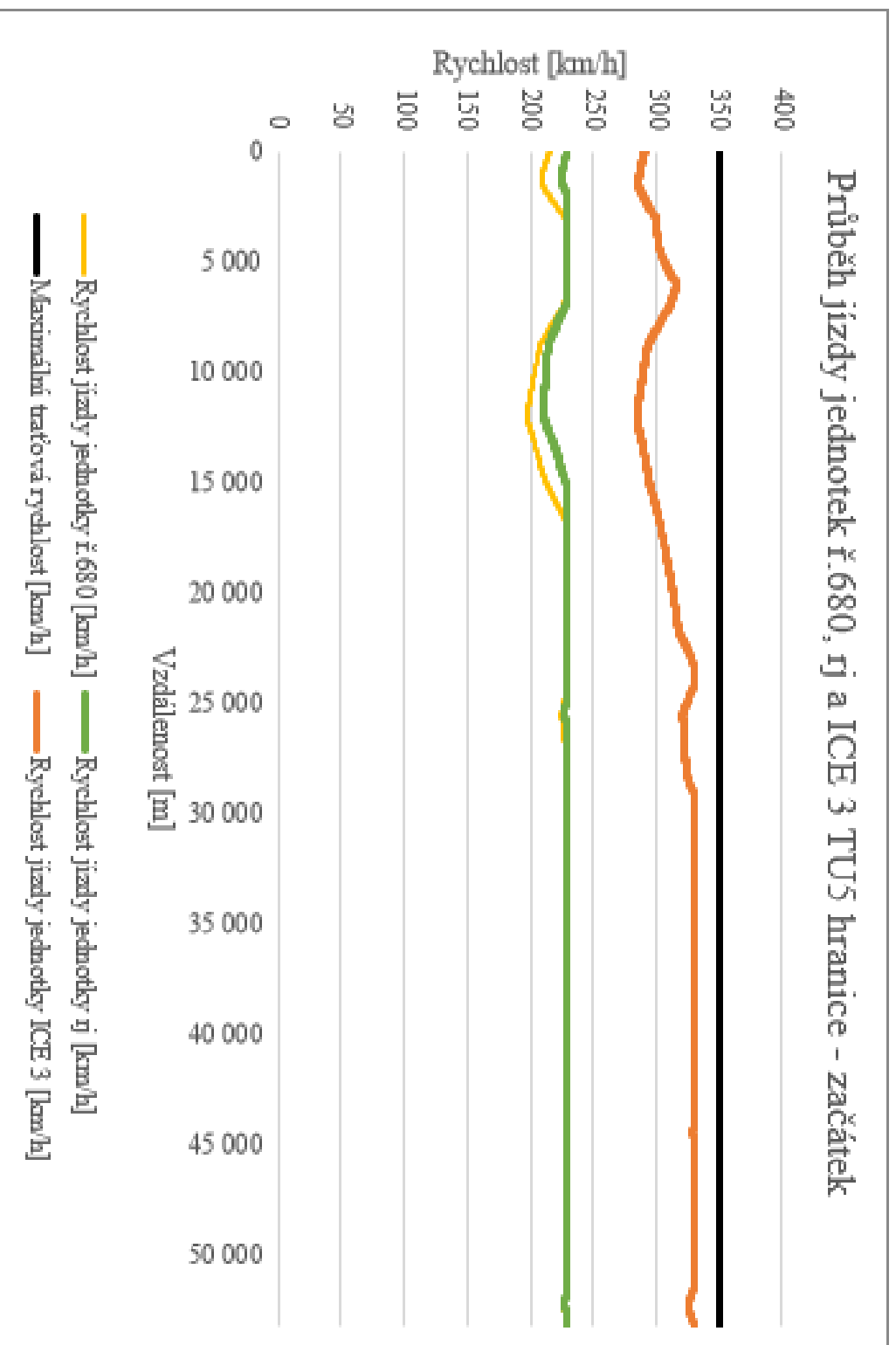
Příloha 5: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU1b-alt v úseku hranice – HK

Zdroj: Autor



Příloha 6: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU5 v úseku hranice - HK

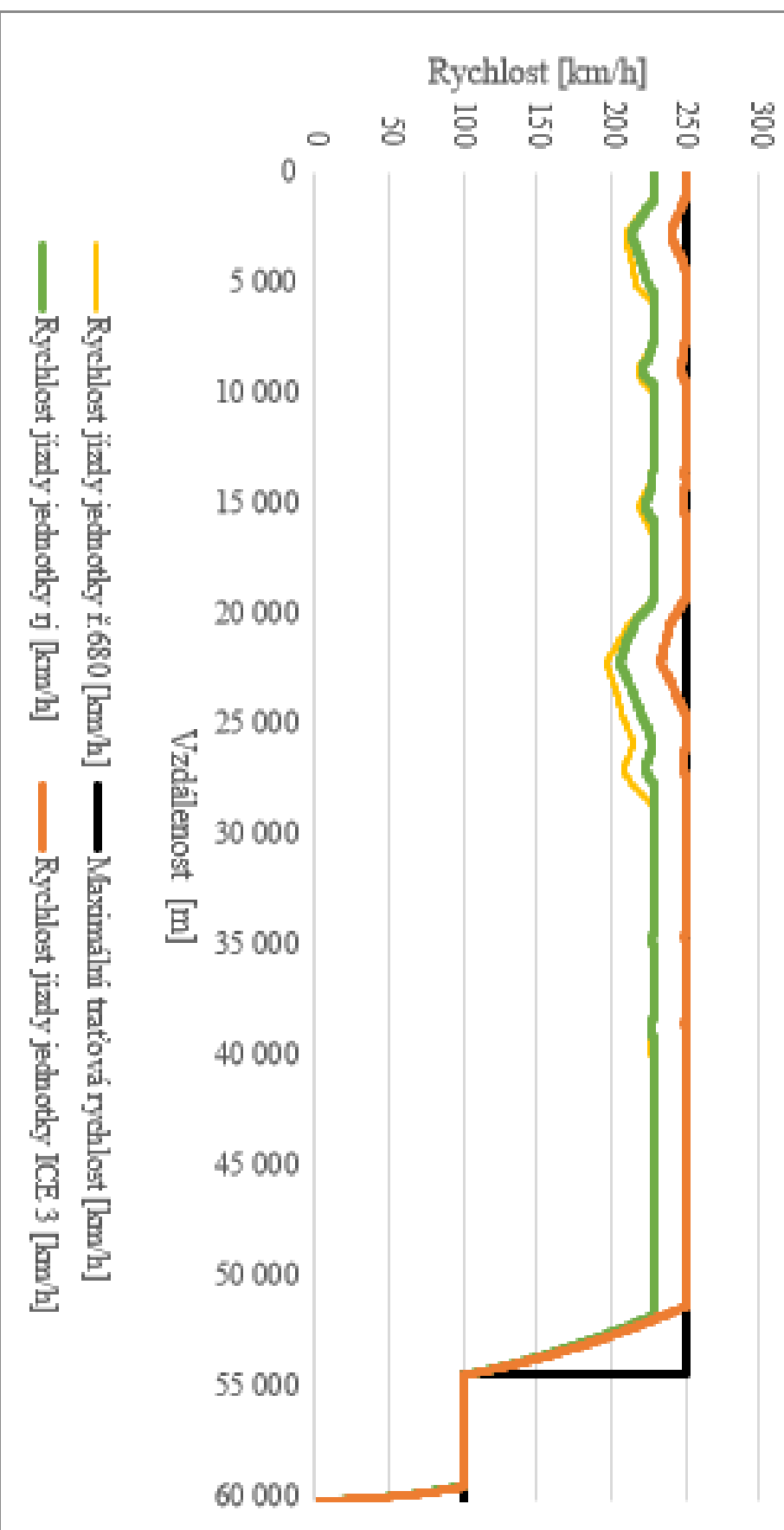
Zdroj: Autor



Příloha 7: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TUS v úseku hranice – začátek

Zdroj: Autor

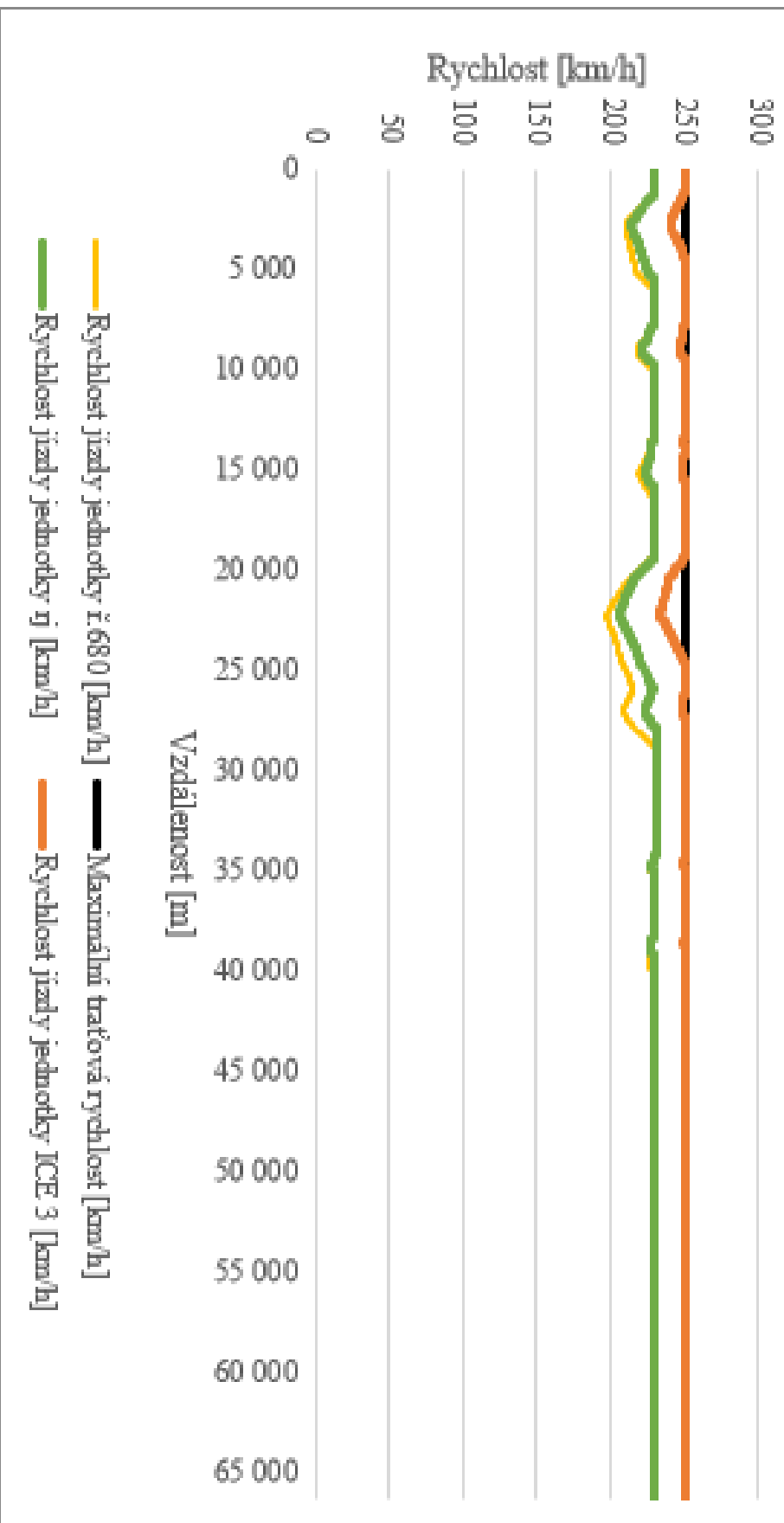
Průběh jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 TU6 hranice - HK



Příloha 8: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU6 v úseku hranice – HK

Zdroj: Autor

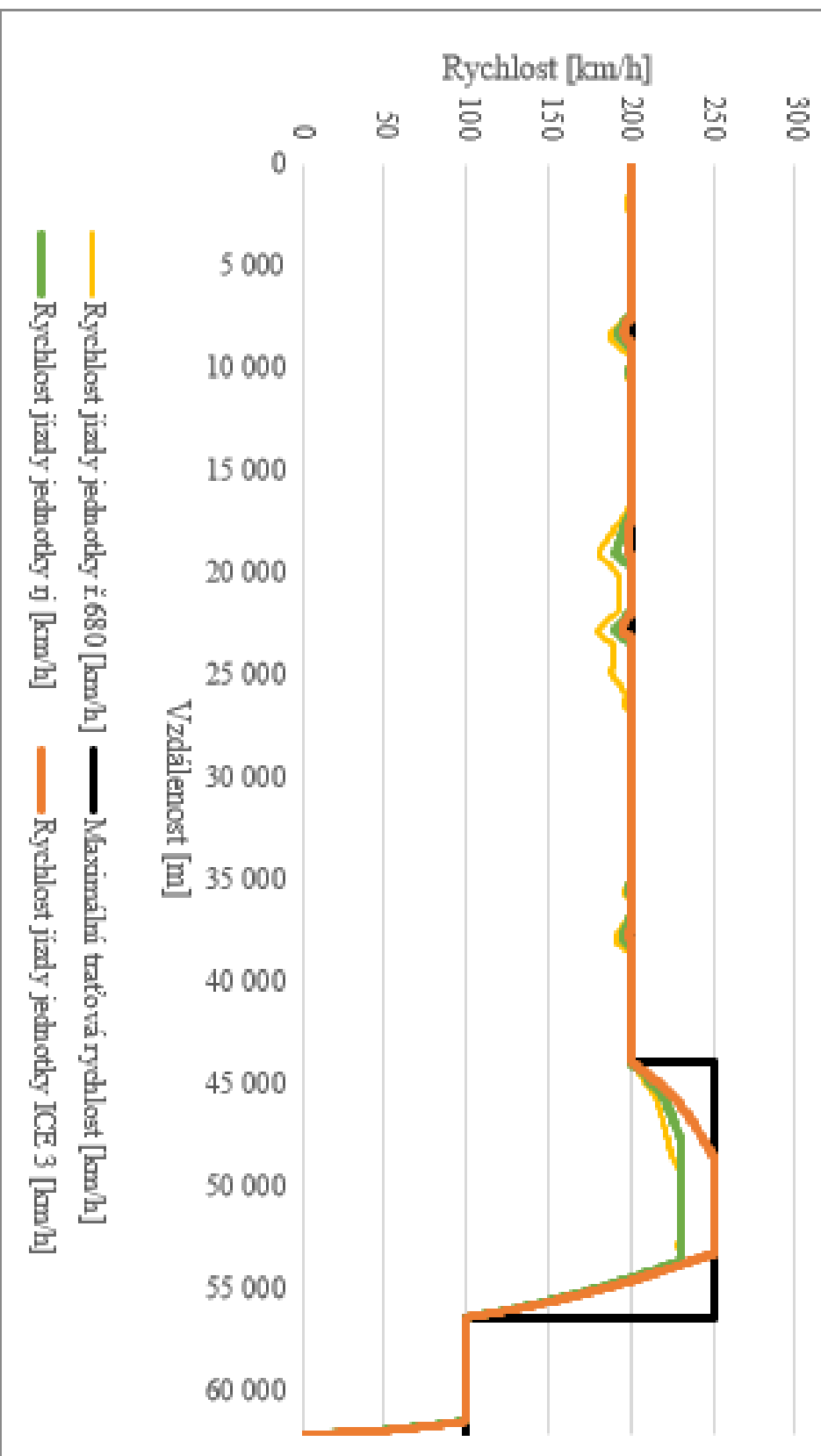
Průběh jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 TU6 hranice - začátek



Příloha 9: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU6 v úseku hranice – začátek

Zdroj: Autor

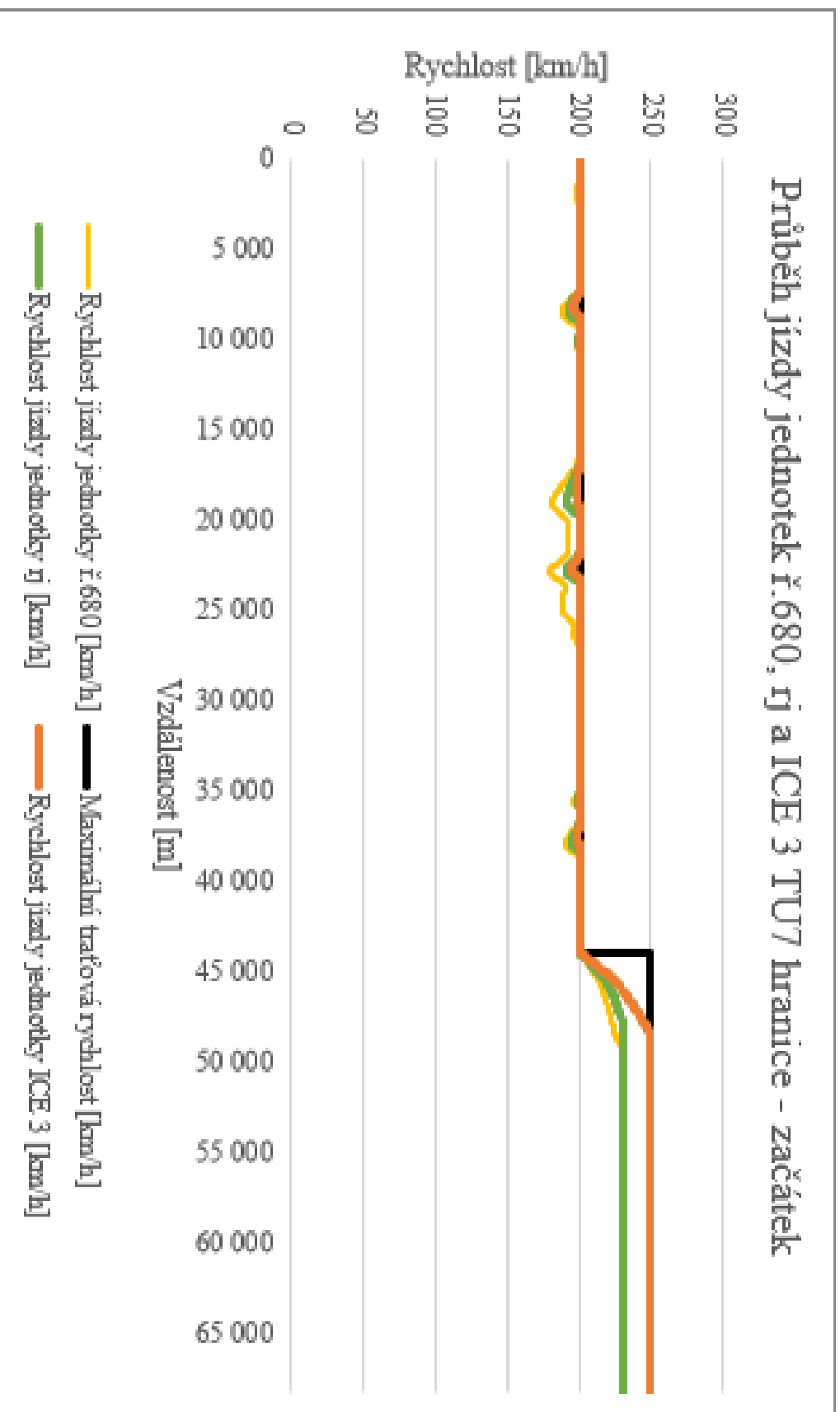
Průběh jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 TU7 hranice - HK



Příloha 10: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU7 v úseku hranice – HK

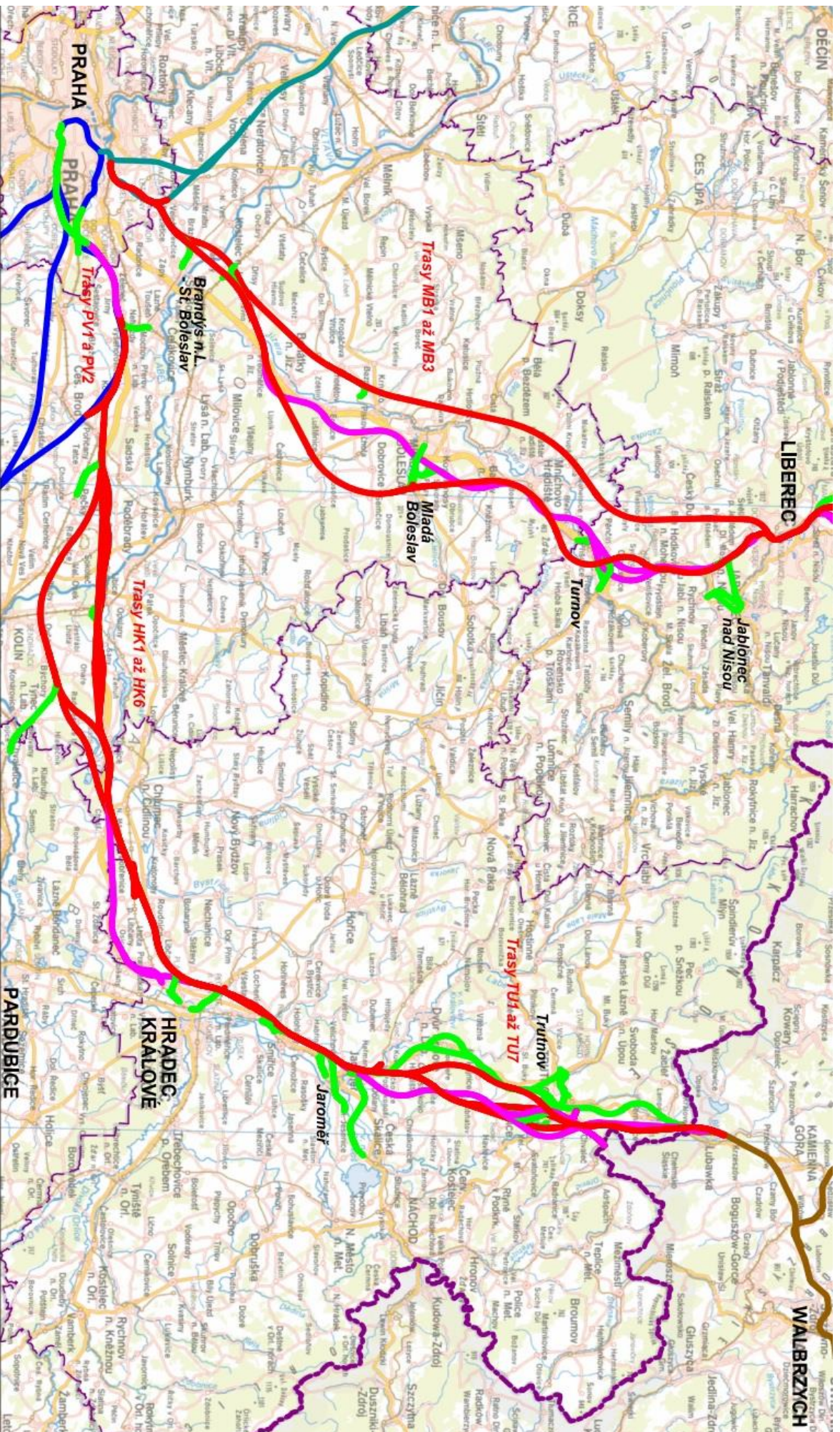
Zdroj: Autor

Průběh jízdy jednotek ř.680, rj a ICE 3 TU7 hranice - začátek



Příloha 11: Grafické znázornění průběhu jízdy jednotek ve variantě TU7 v úseku hranice – začátek

Zdroj: Autor



Příloha 12: Mapa VRT/RS5 v úsecích

Zdroj:(13)