

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Program pro výpočet jízdních dob a spotřeby trakční energie  
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2019/2020

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Zdeněk Fišr**  
Osobní číslo: **D17171**  
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Kolejová vozidla**  
Téma práce: **Program pro výpočet jízdních dob a spotřeby trakční energie**  
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

### Zásady pro vypracování

V rámci řešení bakalářské práce vytvořte program pro numerický výpočet jízdních dob a spotřeby energie vlaku. Vypracujte:

1. matematický model pohybu vlaku pro potřeby řešení zadané úlohy a jeho popis;
2. rozhraní pro definici vstupních dat pro příslušné výpočty a popis jejich struktury;
3. výpočty jízdních dob a spotřeby energie pro vybraný vlak na vybrané trati;
4. validaci modelu s využitím porovnání výsledků provedených výpočtů s výsledky měření reálných jízdních dob (potřebné podklady budou dodány vedoucím práce).

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího BP**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] MICHÁLEK T., ZELENKA J.: *Trakční mechanika*. 1. vydání, 104 s. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2018. ISBN 978-80-7560-175-9.
- [2] MICHÁLEK T., ŠLAPÁK J.: Vliv elektrifikace trati Klatovy – Železná Ruda na jízdní doby a spotřebu energie. In: *Vědeckotechnický sborník ČD č. 42/2016*. Praha: GŘ ČD, 2016. 17 s. ISSN 1214-9047.
- [3] ČSD V7. *Trakční výpočty*. Praha: NADAS, 1982. (Znění předpisu ve smyslu změny č. 1 z roku 1992.)
- [4] UIC-Kodex 451-1. In *den Fahrplänen vorzusehende Fahrzeitzuschläge, um die pünktliche Betriebsabwicklung zu gewährleisten – Fahrzeitzuschläge*. 4. Ausgabe, Dezember 2000. ISBN 2-7461-0222-6.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Michálek, Ph.D.**  
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **18. února 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **18. května 2020**

L.S.

---

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

---

**Ing. Jakub Vágner, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 18. února 2020

Prohlašuji:

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

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., 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 3. 8. 2020

Zdeněk Fišr

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Tomáši Michálkovi, Ph.D. za jeho cenné rady, náměty i přátelský přístup a ochotu. Poděkování patří též mým kolegům ve studiu a také mé rodině za podporu během studia.

**Anotace**

Tato bakalářská práce popisuje program pro výpočet jízdních dob vlaku a spotřeby energie, který byl vytvářen v průběhu jejího zpracování. Aplikace usnadňuje běžnému uživateli výpočty jízdy vlaku a je založena na možnosti ukládání dat o tratích a vozidlech do souborů a jejich opakovanému využívání. V práci je také provedena validace modelu na základě porovnání výsledků výpočtu a reálnými daty o jízdě konkrétního vlaku na konkrétní trati.

**Klíčová slova**

Program, trakční výpočet, vlak, pohyb

**Title**

Program for calculating time and energy consumption of a moving train

**Abstract**

This bachelor thesis describes a computer program used for calculating time and energy consumption of a moving train. It was created during work on the thesis. The application makes calculation of train motion easier for a common user. It is based on saving data about train lines and vehicles in files and using them repeatedly. The thesis also contains validation of the model by comparing results of the calculation with real data taken from a train ride on a specific rail line.

**Keywords**

Program, traction calculation, train, motion

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Matematický model pohybu vlaku.....</b>	<b>11</b>
2.1	Obecné vztahy .....	11
2.2	Způsob výpočtu.....	12
2.3	Přiřazení hodnot segmentům a výpočet traťových odporů .....	13
2.4	Profil přípustných rychlostí .....	15
2.5	Profil dosažitelných rychlostí.....	15
2.6	Dokončení výpočtu .....	20
<b>3</b>	<b>Vstupní data .....</b>	<b>22</b>
3.1	Tratě .....	22
3.2	Vozidla.....	26
3.3	Soupravy.....	29
3.4	Zadání výpočtu.....	32
<b>4</b>	<b>Výstupní data .....</b>	<b>36</b>
4.1	Typy a obsah výsledků.....	36
4.2	Rozhraní pro zobrazení výsledků .....	36
4.3	Ukládání výsledků .....	38
<b>5</b>	<b>Výpočet pro konkrétní trať a konkrétní vlak.....</b>	<b>39</b>
5.1	Vstupní parametry tratě.....	39
5.2	Vstupní parametry vozidla .....	41
5.3	Vstupní parametry výpočtu.....	42
5.4	Výsledky výpočtu.....	42
<b>6</b>	<b>Porovnání výsledků výpočtu s naměřenými údaji .....</b>	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>46</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>47</b>

## Seznam symbolů

$M$	[t]	hmotnost vlaku
$\rho$	[1]	součinitel rotačních hmot
$a$	[m·s <sup>-2</sup> ]	zrychlení
$F_{ok}$	[kN]	tažná síla na obvodu kol
$F_b$	[kN]	brzdná síla
$O_v$	[kN]	vozidlový odpor
$O_s$	[kN]	odpor stoupání
$O_r$	[kN]	odpor z jízdy obloukem
$M_s$	[t]	hmotnost soupravy
$M_n$	[t]	hmotnost nákladu
$M_r$	[t]	ekvivalentní rotační hmoty
$A$	[N]	konstanta vozidlového odporu – konstantní složka
$B$	[N·h·km <sup>-1</sup> ]	konstanta vozidlového odporu – lineární složka
$C$	[N·h <sup>2</sup> ·km <sup>-2</sup> ]	konstanta vozidlového odporu – kvadratická složka
$V$	[km·h <sup>-1</sup> ]	rychlost
$\tau$	[1]	tunelový faktor
$g$	[m·s <sup>-2</sup> ]	tíhové zrychlení
$s$	[‰]	hodnota stoupání
$c_1, c_2$	[N·m·kN <sup>-1</sup> ; N]	konstanty pro výpočet odporu z jízdy obloukem
$R$	[m]	poloměr oblouku
$n$	[1]	počet segmentů
$L$	[km]	délka tratě
$\Delta x$	[m]	délka segmentu
$n_s$	[1]	počet segmentů, které svou délkou zabírá souprava
$L_s$	[m]	délka soupravy
$x$	[m]	ujetá dráha
$i$	[1]	krok numerického výpočtu
$v$	[m·s <sup>-1</sup> ]	rychlost
$a_b$	[m·s <sup>-2</sup> ]	konstantní zpomalení
$V_d$	[km·h <sup>-1</sup> ]	dovolená rychlost
$t_o$	[s]	čas pro obnovení vyvíjení tažné síly
$F_{adh}$	[kN]	adhezní síla (tažná síla dosažitelná s ohledem na mez adheze)
$M_{adh}$	[t]	adhezní hmotnost
$\mu_{max}$	[1]	mez adheze
$P$	[kW]	výkon



$t$	[s]	jízdní doba
$W$	[J]	práce
$u_P$	[1]	využití výkonu
$t_p$	[s]	čas příjezdu
$t_k$	[s]	kumulovaný čas
$t_{cs}$	[s]	celková doba stání
$t_z$	[s]	počáteční čas
$E$	[kWh]	energie
$W_k$	[J]	kumulovaná práce
$E_k$	[kWh]	kumulovaná energie
$n_{nd}$	[1]	počet hnacích dvojkolí
$n_d$	[1]	počet dvojkolí
$M_v$	[t]	hmotnost vozidla
$\eta$	[1]	účinnost

# 1 Úvod

Když vlak jede po trati, musí při své jízdě respektovat různá rychlostní omezení, musí na některých místech zastavit a během toho všeho na něj v podélném směru působí síly, jejichž hodnota se v závislosti na různých veličinách v průběhu jízdy mění. Chceme-li vědět, jak dlouho vlaku trvá, než projede danou trať, kolik při tom spotřebuje energie a jaké jsou tyto a další hodnoty pro různá místa na trati, analytické výpočty by byly poměrně náročné. Ve složitějších případech je výhodnější numerický výpočet, při němž je trať rozdělena na krátké úseky a pro každý z nich se vypočítají všechny potřebné hodnoty. Celkový čas a energii pak získáme sečtením příslušných hodnot ve všech úsecích. Výsledná odchylka, která tím vznikne, je zanedbatelná a čím kratší jsou jednotlivé úseky, tím jsou výsledky přesnější.

Stanovení působících sil a z toho vyplývajících dalších veličin pro všechny úseky je však při použití běžných metod (např. s využitím programu MS Excel) poměrně zdlouhavé a je zde velká šance, že ve výpočtech vznikne chyba, zvláště při často se měnících vnějších podmínkách. Pro často opakující se výpočty s různými parametry by bylo výhodné mít uložená přehledná data o tratích a vozidlech a pohodlným způsobem je využívat k získání potřebných výsledků.

Za tímto účelem byl v rámci zpracování této práce jejím autorem vytvořen program, který si klade za cíl běžnému uživateli usnadnit definici údajů o tratích a vozidlech a takto uložená data dále opakovaně využívat pro výpočty s různými vstupními podmínkami za účelem získání přehledných výsledků. Zároveň je zde snaha co nejvíce zohlednit reálné podmínky.

Základem programu je hlavní okno, v němž uživatel vybere trať, definuje počáteční a cílovou stanicí, určí, kde má vlak zastavit a jet odbočkou, vybere soupravu a definuje další podmínky specifické pro daný výpočet. Poté kliknutím na jedno tlačítko získá výsledky. Další okna umožňují definovat podrobnější údaje pro výpočty, vytvářet a editovat tratě spolu se stanicemi, dovolenými rychlostmi a dalšími parametry, dále definovat vozidla a jejich vlastnosti a z nich skládat soupravy. Všechny tyto údaje jsou uloženy v souborech, které pak výpočetní algoritmus využívá k zjištění výsledků pomocí numerického řešení pohybové rovnice vlaku. Doplňkové funkce umožňují např. grafické znázornění průběhu jízdy, trakčních charakteristik vozidel, ukládání výsledků a podobně.

Program byl vyvinut v jazyce C# pomocí technologie WPF, která funguje na platformě .NET společnosti Microsoft a umožňuje vytvářet okenní desktopové aplikace pro operační systémy Windows [1]. Výhodou této technologie je využití celé řady prvků, které usnadňují jak programování, tak ovládání a činí celou aplikaci uživatelsky přívětivou. Aplikace je pracovně nazvána „RailCalc“.

## 2 Matematický model pohybu vlaku

### 2.1 Obecné vztahy

Ve všech používaných vztazích platí, že se do nich dosazují hodnoty s jednotkami uvedenými v Seznamu symbolů. V případě nutnosti přepočtu na jinou jednotku jsou příslušné konstanty uvedeny ve vztahu. V Seznamu symbolů nejsou uvedeny veličiny s indexy  $i$  a  $j$ , neboť ty představují hodnoty platné pro daný krok cyklu, který prochází celý numerický výpočet, případně vnořený cyklus uvnitř daného kroku, a též některé veličiny s indexem  $s$ , které označují hodnoty platné pro soupravu.

Matematický model je založen na numerickém řešení pohybové rovnice vlaku, kde se uvažuje integrační krok konstantní délky. Pohyb vlaku je uvažován jako pohyb o 1 stupni volnosti. Model též zohledňuje délku vlaku. Obecně lze pohyb vlaku vyjádřit pomocí této pohybové rovnice [2, s. 12-13]:

$$M \cdot (1 + \rho) \cdot a = F_{ok} - F_b - O_v - O_s - O_r \quad (1)$$

Místo součinitele rotačních hmot jsou uvažovány tzv. ekvivalentní rotační hmoty. Dále se předpokládá, že nikdy nepůsobí tažná síla a brzdná síla současně, je proto možné brzdnou sílu z rovnice vypustit a považovat zápornou hodnotu tažné síly za brzdnou sílu. Nesmí se též zapomenout na hmotnost nákladu, jelikož ta se bude zadávat zvlášť.

$$M = M_s + M_n \quad (2)$$

Hodnota ekvivalentních rotačních hmot se vypočítá podle tohoto vztahu:

$$M_r = \rho \cdot M \quad (3)$$

Upravená pohybová rovnice tedy vypadá takto:

$$(M_s + M_r + M_n) \cdot a = F_{ok} - O_v - O_s - O_r \quad (4)$$

Způsoby výpočtu tažné síly jsou blíže popsány v oddíle 2.5. Vozidlový odpor závisí na aktuální rychlosti a vypočítá se podle následujícího vztahu [2, s. 24]:

$$O_v = (A + B \cdot V + \tau \cdot C \cdot V^2) \cdot \frac{1}{1000} \quad (5)$$

Odpor ze sklonu koleje (jinak také odpor stoupání) vychází z tohoto zjednodušeného vztahu [2, s. 29-30]:

$$O_s = \frac{(M_s + M_n) \cdot g \cdot s}{1000} \quad (6)$$

Hodnota odporu z jízdy obloukem vychází z empirického vztahu [2, s. 33] s volitelnými konstantami:

$$O_r = (M_s + M_n) \cdot g \cdot \frac{c_1}{(R - c_2) \cdot 1000} \quad (7)$$

Tyto vztahy jsou v upravených podobách využívány v numerickém výpočtu.

## 2.2 Způsob výpočtu

Před každým výpočtem je trať rozdělena na určitý počet segmentů o délce  $\Delta x$ . Počet segmentů se vypočítá následovně:

$$n = \frac{L}{\Delta x} + 1 \quad (8)$$

Délka tratě je vždy udávána v kilometrech s přesností na dvě desetinná místa, resp. v desítkách metrů, a přípustné hodnoty pro délku segmentu jsou 10 m, 5 m, 2 m a 1 m (viz oddíl 3.4), tedy všechny dělitele čísla 10. Výsledná hodnota  $n$  proto vždy vyjde jako celé číslo bez nutnosti zaokrouhlování a trať je rozdělena na stejně dlouhé segmenty beze zbytku.

Každý segment je označen pořadovým číslem  $i$ , přičemž číslování začíná od nuly. Jedná se o body na trati, mezi nimiž je prostor o délce  $\Delta x$ . Segment zahrnuje daný bod a předcházející prostor. Nultý segment tedy na rozdíl od všech dalších představuje pouhý bod a jde spíše o doplňkový údaj nutný pro další výpočty. Veličiny charakterizující prostor mezi body mají v tomto segmentu hodnotu nula. Segmenty v sobě obsahují následující veličiny (příslušné symboly a fyzikální jednotky jsou uvedeny v seznamu veličin; není-li uvedeno jinak, mají číselnou hodnotu):

- Pořadí
- Délka
- Poloha na trati
- Stoupání
- Poloměr oblouku
- Tunelový faktor
- Elektrické napájení (označení  $EN$ , hodnota ano/ne)
- Dovolená rychlost
- Dráha
- Rychlost
- Zrychlení
- Tažná síla na obvodu kol
- Vozidlový odpor
- Odpor stoupání
- Odpor z jízdy obloukem
- Čas
- Kumulovaný čas
- Práce
- Kumulovaná práce
- Výkon
- Využití výkonu
- Čas pro obnovení vyvíjení tažné síly

Pro účely výpočtu obsahují segmenty ještě tyto veličiny:

- Dovolená rychlost čela vlaku
- Dovolená rychlost konce vlaku
- Rozjezdová rychlost
- Brzdná rychlost
- Rozjezdové zrychlení
- Brzdné zrychlení

Výsledkem výpočtu je tabulka se sloupci představujícími veličiny v prvním seznamu a řádky s jednotlivými segmenty. Tato tabulka nese název „podrobné výsledky“. Další prací s touto tabulkou jsou vytvořeny „základní výsledky“ a „mezistaniční úseky“ (viz oddíl 4).

### 2.3 Přiřazení hodnot segmentům a výpočet traťových odporů

Nejprve se vypočítá počet segmentů, které svou délkou souprava zabírá. Tato hodnota bude později využita u některých výpočtů. Vzorec zní takto:

$$n_s = \left\lceil \frac{L_s}{\Delta x} \right\rceil \quad (9)$$

Poté je všem segmentům přiřazeno pořadí a délka, z nich se vypočítá dráha podle vztahu:

$$x = i \cdot \Delta x \quad (10)$$

V dalším cyklu je segmentům na základě místa zastavení v první stanici, dráhy a směru jízdy přiřazena poloha na trati. Poté jsou stanoveny 3 různé rychlosti: traťová, pomalá a odbočná. Všem těmto rychlostem je přiřazena základní hodnota rychlosti pro danou trať (ta nemusí být nejvyšší možnou rychlostí). Následně se provede kontrola, jestli se v uživatelem zvoleném rychlostním profilu nenachází na dané poloze na trati rychlostní omezení. Pokud ano, je do traťové rychlosti přiřazena nalezená hodnota. Totéž se provede pro seznam pomalých jízd a pro seznam stanic, kde se kontroluje, zda se na daném místě nevyskytuje stanice s nařízenou jízdou do odbočky. Tato kontrola se provádí pro prostor mezi vjezdovým návěstidlem na první (dříve projeté) straně stanice a místem, kde už je možno po opuštění stanice zvyšovat rychlost (tato místa jsou dále nazývána „vjezd“ a „odjezd“ s pořadovým číslem). Poté jsou tyto tři rychlosti navzájem srovnány ještě s celkově platným omezením rychlosti (to je buď zadané uživatelem, nebo je dáno maximální rychlostí soupravy, platná je nižší z těchto hodnot) a nejnižší z těchto rychlostí je uložena jako dovolená rychlost čela vlaku pro daný segment.

Další krok závisí na tom, zda si uživatel přeje, aby souprava začala zrychlovat až poté, co celý vlak projede místem se zvýšením dovolené rychlosti (dále je v této práci tato vlastnost nazývána jako „odložení zrychlování“). Pokud ne, dovolená rychlost platí pro konec vlaku stejně jako pro čelo vlaku a do dovolené rychlosti pro konec vlaku se přiřadí dovolená rychlost pro čelo vlaku. Pokud ano, dovolená rychlost pro čelo vlaku platná pro aktuální segment se uloží jako dovolená rychlost pro konec vlaku v segmentu o délku vlaku ( $n_s$ ) vzdáleném směrem dopředu od aktuálního segmentu. Tato akce se provádí pouze v případě, že takový segment existuje (není již za vyšetřovanou

trati). Pokud tomu tak není, provede se tato akce pro poslední segment. Výsledná dovolená rychlost je vždy rovna nižší z obou dovolených rychlostí. Případ počáteční fáze jízdy o délce zvolené soupravy, pro niž tímto postupem není stanovena dovolená rychlost pro konec vlaku, je ošetřen v pozdějším kroku.

Následuje přiřazení traťových poměrů, tedy stoupání, poloměru oblouku, tunelového faktoru a přítomnosti elektrického napájení. Pro stoupání platí, že je-li směr jízdy opačný, než je výchozí směr, přiřadí se opačná hodnota stoupání. Pokud v datech o trati není přítomný dotyčný údaj pro dané místo, předpokládá se stoupání o hodnotě 0 ‰, nekonečně velký poloměr oblouku (přímá kolej), tunelový faktor o hodnotě 1 a že trať je elektrizována.

Další krok se uskuteční, je-li uživatelem zvoleno odložení zrychlování. Spustí se cyklus, který prochází všechny segmenty od začátku do konce. Nejdříve se za podmínky, že dovolená rychlost pro konec vlaku má hodnotu nula (nebyla přiřazena, jde tedy o počáteční fázi jízdy), přiřadí se do ní dovolená rychlost pro čelo vlaku z téhož segmentu. Další podmínka zjišťuje, zda se dovolená rychlost pro segment, který se nachází o délku vlaku vzadu za aktuálním, rovná dovolené rychlosti aktuálního segmentu. Pokud ano, znamená to, že se mezi čelem a koncem vlaku může nacházet úsek s nižší rychlostí, než jaká platí pro čelo i konec vlaku. Pak je nutné snížit dovolenou rychlost pro konec vlaku u všech segmentů, v nichž se právě vlak nachází. Po ukončení tohoto cyklu proběhne další cyklus, který projde také konečnou fází trasy, kterou předchodí cyklus nemůže pokrýt. Stejným způsobem se zde vyhodnotí posledních  $n_s$  segmentů jízdy a případně se u nich sníží dovolená rychlost pro konec vlaku (šlo by také změnit dovolenou rychlost pro čelo vlaku, na výsledku se to neprojeví).

Dále jsou stanoveny hodnoty rychlosti pro začátek a konec tratě. Výpočet vždy začíná a končí na místě zastavení určité stanice. Platí, že je-li v dané stanici nařízeno zastavení, je počáteční (resp. koncová) rychlost rovna nule, v opačném případě je těmto hodnotám přiřazena hodnota dovolené rychlosti v nultém (resp. posledním) segmentu. Zavádí se zde nová proměnná vyjadřující aktuální rychlost (dále nazývaná „rychlost“ bez dalších podrobností, jednotkou je metr za sekundu, bude se s ní dále pracovat při vytváření profilů rychlostí), do níž je přiřazena hodnota koncové rychlosti převedená na metr za sekundu.

Model při výpočtu traťových odporů zohledňuje délku vlaku, a to za zjednodušujícího předpokladu, že hmotnost vlaku včetně nákladu je po délce vlaku rozdělena rovnoměrně. Nachází-li se tedy vlak v místech s různým stoupáním nebo poloměry oblouků, jsou tomu přizpůsobeny příslušné hodnoty traťových odporů, a to i pro počáteční fázi jízdy, kdy vlak není ještě celý v řešeném úseku trati. Z toho důvodu se při výpočtu nenačítají hodnoty v segmentech, ale hodnoty v datech o trati. Nejprve je vytvořena množina pro hodnoty stoupání, jejíž velikost je rovna počtu segmentů, které zabírá vlak ( $n_s$ ). Do této množiny jsou pomocí cyklu přiřazovány hodnoty stoupání odpovídající určité vzdálenosti od čela vlaku směrem dozadu. Opět platí, že v případě nenalezení hodnoty v datech o trati jsou rovny 0 ‰. Po ukončení cyklu se zjistí průměrná hodnota stoupání a celkový odpor stoupání se vypočítá podle vztahu:

$$O_{s_i} = \frac{(M_s + M_n) \cdot g \cdot s_i}{1000} \quad (11)$$

V tomtéž cyklu se obdobným způsobem procházejí hodnoty poloměrů oblouků s tím, že pokud daný údaj není v datech o trati nalezen, počítá se s nekonečnou hodnotou poloměru. Zde však

nelze počítat s průměrnou hodnotou poloměru, a to z důvodu, že přímá kolej má tento poloměr nekonečně velký. Proto se ve zmíněném cyklu počítají dílčí hodnoty odporu z jízdy obloukem a ty se přičítají k celkové hodnotě, která je pak uložena do segmentu. Vztah pro dílčí odpor z jízdy obloukem je následující (písmeno  $j$  označuje iteraci v cyklu charakterizujícím délkou vlaku):

$$O_{r_{ij}} = \frac{\Delta x}{L_s} \cdot (M_s + M_n) \cdot g \cdot \frac{c_1}{(R_{ij} - c_2) \cdot 1000} \quad (12)$$

Vztah pro výslednou hodnotu odporu z jízdy obloukem potom zní takto:

$$O_{r_i} = \sum_{j=1}^{n_s} O_{r_{ij}} \quad (13)$$

## 2.4 Profil přípustných rychlostí

Další cyklus projde segmenty od konce do začátku, jelikož pro zjištění rychlostí potřebných pro zpomalení nebo zastavení vlaku (dále nazýváno „brzdná křivka“) je nutné vycházet z míst zastavení, resp. koncových míst zpomalování a postupovat opačným směrem, než je jízda vlaku. Nejprve se zjistí, zda v daném segmentu není místo zastavení některé ze stanic, kde je vyžadováno zastavení. Pokud ano, do rychlosti se uloží nulová hodnota, pokud ne, nic se nepřičítá a využije se dále hodnota z předchozí iterace. Rychlost se uloží do segmentu jako brzdná rychlost. Je-li dále splněna podmínka, že rychlost je vyšší nebo rovna dovolené rychlosti daného segmentu, do brzdného zrychlení se přiřadí nula a do rychlosti se přiřadí dovolená rychlost v daném segmentu, převedená na metry za sekundu. Není-li tato podmínka splněna, do brzdného zrychlení je přiřazena opačná hodnota konstantního zpomalení (to má kladnou hodnotu, byť jde o zpomalení) zadaná uživatelem a rychlost se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$v_{i+1} = \sqrt{v_i^2 + 2 \cdot a_b \cdot \Delta x} \quad (14)$$

Označení „ $i + 1$ “ vyplývá z toho, že po tomto kroku iterace končí, celý proces se opakuje a tato vypočtená hodnota je využita v následující iteraci (jde o následující krok cyklu, ve skutečnosti tato hodnota platí pro předchozí segment, jelikož je trať procházena v opačném směru). Tímto způsobem je vytvořena brzdná křivka pro celou jízdu vlaku. Její výsledný tvar by při čtení od začátku tratě do konce vypadal tak, že při rozjezdu ze stanice a při zrychlování se hodnota rychlosti skokově zvýší a při zpomalování a zastavení klesá plynule.

## 2.5 Profil dosažitelných rychlostí

### 2.5.1 Zahájení výpočtu rozjezdové křivky

Před zahájením cyklu je do rychlosti přiřazena hodnota počáteční rychlosti převedená na metry za sekundu. Je také zavedena nová proměnná, do níž se ukládá uplynulý čas pro obnovení vyvíjení tažné síly (dále je tato proměnná nazývána „čas obnovení“), do níž se uloží výchozí hodnota platná pro danou soupravu (dále nazývaná „čas obnovení soupravy“). Následně je založen seznam stanic

s příslušnými hodnotami, který následně vytvoří část výsledků zvanou „mezistaniční úseky“. Tyto hodnoty a jejich výstupní podoba jsou následující:

- Název stanice
- Čas příjezdu (h:mm:ss)
- Čas odjezdu (h:mm:ss)
- Doba jízdy (h:mm:ss)
- Energie

V tomto seznamu je vytvořen první řádek, v němž je vyplněn pouze název počáteční stanice, čas odjezdu, daný zadáním uživatele, a energie, která má v tomto místě hodnotu nula. Ve výpočtech je čas převeden vždy na sekundy, následně je do seznamu uložen v podobě uvedené výše.

V cyklu, který prochází segmenty od začátku do konce a zjišťuje dosažitelné rychlosti při snaze vždy zrychlit na dovolenou rychlost (dále nazýváno „rozjezdová křivka“), je prvním krokem opět zjištění, zda se v daném segmentu nachází místo zastavení některé ze stanic s vyžadovaným zastavením. Pokud ano, do rychlosti se uloží nulová hodnota a je-li také splněna podmínka, že čas obnovení je menší než čas obnovení soupravy a zároveň je v aktuálním segmentu elektrické napájení, do času obnovení se přičte doba stání v této stanici. Jako v případě brzděné křivky, i tady se rychlost uloží do hodnoty rozjezdové rychlosti daného segmentu (nebyla-li výše uvedená podmínka splněna, je v ní uložena hodnota z předchozí iterace). Následující podmínka je poněkud složitější, je proto zapsána v matematickém tvaru takto:

$$v \cdot 3,6 \geq V_{d_i} \wedge (\neg Z \vee EN_i) \wedge t_o \geq t_{o_s} \quad (15)$$

Výrok Z zní: „Souprava je v závislé trakci“. Zjednodušeně tento zápis znamená současné splnění všech následujících podmínek:

- rychlost je vyšší nebo rovna dovolené rychlosti pro daný segment,
- souprava není v závislé trakci nebo je v daném segmentu přítomno elektrické napájení,
- čas obnovení je roven nebo je vyšší než čas obnovení soupravy (souprava může již vyvíjet tažnou sílu).

Pokud je tato podmínka splněna, jedná se o jízdu konstantní rychlostí. V opačném případě jde o jízdu proměnlivou rychlostí, kde mohou nastat 2 případy, a to zrychlování při působení tažné síly nebo jízda výběhem.

## 2.5.2 Jízda konstantní rychlostí

Do proměnné vyjadřující zrychlení (dále nazývaná „zrychlení“) se přiřadí nulová hodnota, do rychlosti se přiřadí hodnota dovolené rychlosti pro daný segment, převedená na metry za sekundu. Dále se zjistí tzv. adhezní síla, tedy síla, které je vozidlo schopno dosáhnout pro dané adhezní podmínky, bez ohledu na výkon nebo trakční charakteristiku. Vypočítá se následovně:

$$F_{adh} = M_{adh_s} \cdot g \cdot \mu_{max} \quad (16)$$

Následně se vypočítá vozidlový odpor, který se uloží jako hodnota pro daný segment. Využity jsou konstanty platné pro danou soupravu a výsledná rychlost pro daný segment, zjištěná porovnáním



brzdné a rozjezdové rychlosti (obě tyto hodnoty jsou v tomto okamžiku již známé, platí ta nižší z nich). Vztah je následující:

$$O_{v_i} = (A + B \cdot V_i + \tau \cdot C \cdot V_i^2) \cdot \frac{1}{1000} \quad (17)$$

Dále se zjistí konstantní tažná síla, potřebná pro udržování konstantní rychlosti:

$$F_{ok_{konst}} = O_{v_i} + O_{s_i} + O_{r_i} \quad (18)$$

Pokud je adhezní síla menší než maximální síla soupravy, kterou zadává uživatel, a zároveň menší než konstantní tažná síla (souprava není schopna vyvinout dříve vypočtenou konstantní tažnou sílu), je do této proměnné přiřazena hodnota tažné síly. Pokud první z těchto podmínek splněna není a platí-li, že maximální tažná síla soupravy je menší než hodnota konstantní tažné síly, přiřadí se do konstantní tažné síly maximální tažná síla soupravy. Výsledná hodnota je přiřazena do segmentu jako tažná síla na obvodu kol. V případě, že dosažitelná tažná síla je menší než síla potřebná k udržení konstantní rychlosti, se již nejedná o jízdu konstantní rychlostí a souprava začne zpomalovat. Stát se to může např. při vjetí do velkého stoupání.

### 2.5.3 Jízda proměnlivou rychlostí

Pokud podmínka (15) není splněna, následuje výpočet tažné síly, kterou je souprava v daném segmentu schopna vyvinout. Posuzuje se další podmínka, která je podobná podmínce (15), obsahuje však pouze druhý a třetí bod. Je-li tato podmínka splněna, spustí se vnořený cyklus, který projde všechna vozidla v soupravě. Jestliže aktuální vozidlo má nulový výkon, jedná se o tažené vozidlo a tato iterace se přeskočí. V případě, že jde o hnací vozidlo, postupuje se dále podle toho, má-li definovanou trakční charakteristiku (dobrovolný údaj). Pokud ne, tak se v případě nulové rychlosti vypočítá dostupná tažná síla jako adhezní síla, a to podle již definovaného vztahu (16), a v případě nenulové rychlosti se dostupná tažná síla vypočítá z výkonu (povinný údaj) daného vozidla, a to podle vztahu:

$$F_{ok} = \frac{P}{v} \quad (19)$$

Takto vypočtená síla však může převyšovat adhezní sílu, proto se následně provádí porovnání těchto dvou sil tak, aby výsledná síla nebyla vyšší než adhezní síla.

Má-li vozidlo definovanou trakční charakteristiku, vyhledají se v ní dva body, u kterých platí, že rychlost leží mezi těmito body. Označme tyto body indexy 1 a 2 (bod 1 má nižší rychlost než bod 2). Dostupná tažná síla pro aktuální vozidlo se pak pomocí lineární interpolace vypočítá následovně:

$$F_{ok} = F_1 + \frac{v \cdot 3,6 - V_1}{v \cdot 3,6 - V_2} \cdot (F_2 - F_1) \quad (20)$$

Po vyhodnocení podmínky a vyčíslení hodnoty tažné síly se opět provede výpočet adhezní síly podle vztahu (16), ovšem pouze s hmotností daného vozu. Pokud je tažná síla menší nebo rovna adhezní síle, znamená to, že vozidlo je schopno vyvinout plnou dostupnou tažnou sílu a tato se

přičte do celkové hodnoty tažné síly. Pokud je tažná síla vyšší než adhezní síla, do celkové hodnoty tažné síly se přičte adhezní síla.

Pokud výše zmíněná podmínka splněná není, znamená to, že vozidlo aktuálně nemůže vyvíjet tažnou sílu, jede tedy výběhem. V takovém případě hodnota tažné síly zůstává nulová (neproběhne výše popsaný cyklus procházení vozidel soupravy) a následuje pouze vynulování času obnovení vyvíjení tažné síly, a to pouze v případě, že tato hodnota není rovna nule a zároveň v daném segmentu není přítomno elektrické napájení.

Pro oba popsané případy (plné nebo žádné vyvíjení tažné síly) je společný další postup. Pokud hodnota tažné síly překročila hodnotu maximální tažné síly soupravy, do tažné síly se uloží maximální síla soupravy. Dále je vypočten vozidlový odpor podle vztahu (17) a následně zrychlení podle vztahu odvozeného ze základní pohybové rovnice vlaku:

$$a = \frac{F_{ok} - O_{v_i} - O_{s_i} - O_{r_i}}{M_s + M_{r_s} + M_n} \quad (21)$$

Rychlost se vypočítá podle vztahu obdobného, jako je vztah (14):

$$v_{i+1} = \sqrt{v_i^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta x} \quad (22)$$

Zde platí (tak jako v případě brzděných křivek), že jde hodnotu, využitou na začátku dalšího kroku cyklu (odtud označení „ $i + 1$ “), a používá se přitom hodnota platná pro tento segment, ale zjištěná tímto vztahem v předchozím kroku. Do hodnoty tažné síly na obvodu kol pro daný segment se uloží zjištěná hodnota tažné síly a příslušná proměnná se vynuluje pro použití v dalším kroku.

#### 2.5.4 Výpočet času, práce a dalších veličin

Další postup je společný pro všechny tři výše popsané případy (jízda konstantní rychlostí, plné vyvíjení tažné síly a jízda výběhem). Do hodnoty rozjezdového zrychlení pro daný segment se uloží zjištěné zrychlení. Výsledné zrychlení se zjistí porovnáním brzděných a rozjezdových rychlostí. Pokud jsou obě tyto rychlosti rovny nule, znamená to, že v daném segmentu souprava stojí a začíná zrychlovat, proto se vrátí hodnota rozjezdového zrychlení. Pokud jsou si obě rychlosti rovny (a nerovnaj se nule), výsledné zrychlení je nulové a jde o jízdu konstantní rychlostí. Je-li rozjezdová rychlost nižší než brzděná rychlost, souprava zrychluje a platí hodnota rozjezdového zrychlení. V opačném případě souprava brzdí a platí hodnota brzděného zrychlení.

Pokud jde o poslední segment, jeho tažná síla se vynuluje. Pokud ne a zároveň platí, že výsledné zrychlení v daném segmentu je rovno opačné hodnotě konstantního zpomalení (v daném segmentu vlak brzdí), provede se nový výpočet tažné síly (již uložené v segmentu), která v tomto případě bude mít zápornou hodnotu a bude se tedy jednat o sílu brzděnou. Uživatel má tak možnost zpětně posoudit, zda je vlak schopný takové brzděné síly dosáhnout. Vztah je následující:

$$F_{ok_i} = (M_s + M_{r_s} + M_n) \cdot a_i + O_{v_i} + O_{s_i} + O_{r_i} \quad (23)$$

Výsledné zrychlení však nemusí vždy být dostatečně přesné pro následný výpočet času, a to z toho důvodu, že při dosažení dovolené rychlosti v rozjezdové křivce je tato rychlost při daném zrychlení mírně překročena a až potom se srovná. Z toho důvodu se v dalším kroku vypočítá skutečné

zrychlení, a to pouze pro případ, že segment není nulový (při výpočtu se totiž uvažuje předcházející segment), což platí i pro následný výpočet času a práce. Výpočet skutečného zrychlení probíhá podle vztahu:

$$a = \frac{\left(\frac{V_i}{3,6}\right)^2 - \left(\frac{V_{i-1}}{3,6}\right)^2}{2 \cdot \Delta x} \quad (24)$$

Pokud je toto zrychlení nenulové, čas pro daný segment (společně s prací jde o hodnotu platnou pro úsek předcházející bodu, který představuje daný segment, proto tento výpočet neprobíhá pro nulový segment) se vypočítá takto:

$$t_i = \frac{\frac{V_i}{3,6} - \frac{V_{i-1}}{3,6}}{a} \quad (25)$$

Je-li zrychlení nulové, výpočet proběhne následovně:

$$t_i = \frac{\Delta x}{\frac{V_i}{3,6}} \quad (26)$$

V případě, že má v předchozím segmentu tažná síla vyšší hodnotu než nula, provede se výpočet vykonané práce:

$$W_i = F_{ok_{i-1}} \cdot \Delta x \cdot 1000 \quad (27)$$

Další postup platí už pro všechny segmenty. Vypočtené hodnoty se přičtou do proměnných charakterizujících celkový čas a celkovou práci. Tyto hodnoty se také uloží do hodnot kumulovaného času a kumulované práce pro daný segment. Pokud platí, že čas pro obnovení vyvíjení tažné síly je menší než hodnota času obnovení platná pro soupravu a zároveň je v daném segmentu přítomno elektrické napájení, znamená to, že souprava již projela úsekem bez elektrického napájení a stále čeká na obnovení tažné síly. V takovém případě se do času pro obnovení vyvíjení tažné síly přičte čas pro daný segment.

Výkon soupravy pro daný segment je v případě nulové nebo záporné tažné síly nulový, v případě kladné tažné síly se vypočítá takto:

$$P_i = F_{ok_i} \cdot \frac{V_i}{3,6} \quad (28)$$

Využití výkonu pro daný segment se vypočítá následovně:

$$u_{P_i} = \frac{P_i}{P} \quad (29)$$

### 2.5.5 Nový řádek v seznamu stanic

Pokud aktuální segment není nulový ani poslední a zároveň je rychlost v něm nulová, znamená to, že vlak stojí ve stanici a je možno přistoupit k dalšímu kroku, kterým je přidání dalšího řádku do

seznamu stanic, v tomto případě nácestné stanice (v následujících vztazích jsou pro odlišení od kroků procházení segmentů označeny kroky procházení seznamu stanic písmenem  $j$ ). Během výpočtu je využita další proměnná, kterou je celkový čas stání. Uživatel totiž může každé stanici přiřadit číselnou hodnotu, která udává, kolik sekund má vlak stát ve stanici. To je potřeba zohlednit v časových údajích. Nejprve jsou řádku přiřazeny hodnoty názvu stanice (ta je vyhledána v seznamu stanic tak, aby se poloha aktuálního segmentu rovnala místu zastavení dané stanice) a času příjezdu, který se vypočítá podle vztahu:

$$t_{pj} = t_{ki} + t_{cs} + t_z \quad (30)$$

Čas odjezdu se zjistí tak, že se k času příjezdu přičte doba stání v dané stanici. Uživatel dále může rozhodnout, zda se mají doby stání ve stanicích přičítat do kumulovaného času. Pokud ano, přičte se tato hodnota, platná pro aktuální stanici, do kumulovaného času aktuálního segmentu a také do celkového času, zatímco hodnota celkového času stání zůstává nulová, ze vztahu (30) tedy vypadne, neboť je uložena v kumulovaném času. Pokud ne, je postup přesně obrácený, aktuální čas se tedy přičte pouze do celkového času stání. Celkový výsledek bude v obou případech stejný, jde pouze o podobu kumulovaného času v podrobných výsledcích.

Je třeba také pamatovat, že souprava v závislé trakci může být momentálně ve fázi načítání času pro obnovení tažné síly. Je-li tomu tak, platí podmínka, že v aktuálním segmentu je přítomno napájení a zároveň je hodnota proměnné času obnovení menší než hodnota času obnovení platná pro soupravu, a v takovém případě se k proměnné času obnovení přičte i doba stání ve stanici. Může se stát, že doba stání ve stanici nebude stačit pro vykrytí času obnovení a vlak se nebude moci znovu rozjet, v takovém případě je nutné ji prodloužit, případně zkrátit tuto hodnotu pro soupravu (podobným výjimkám se tato práce věnuje dále).

Doba jízdy se vypočítá jako rozdíl příjezdu do aktuální stanice a odjezdu z předchozí stanice. Mezystaniční úseky, na rozdíl od podrobných výsledků a celkové práce, pracují s hodnotou spotřebované energie, a to v kilowatthodinách. Vztah pro hodnotu energie mezi aktuální a předchozí stanicí je následující:

$$E_j = \frac{W_{ki}}{\eta \cdot 3,6 \cdot 10^6} - E_{j-1} \quad (31)$$

Tím je vyplněn řádek seznamu stanic. Jako poslední krok je do času pro obnovení vyvíjení tažné síly pro aktuální segment přiřazena hodnota příslušné proměnné, aby byl řádek numerického výpočtu kompletní. Cyklus pro vytvoření rozjezdové křivky je tím uzavřen. Při vykreslení by tato křivka vypadala tak, že při rozjezdu ze stanic a při zrychlování rychlost narůstá plynule a při zpomalování a zastavení její hodnota klesne skokově. Je tomu tedy naopak než u brzděné křivky a při vykreslení výsledné rychlosti, která je rovna vždy nižší z hodnot brzděné a rozjezdové rychlosti, bude její průběh plynulý.

## 2.6 Dokončení výpočtu

V seznamu stanic zbývá ještě doplnit poslední řádek, který představuje konečnou stanici. Postup je obdobný jako u nácestné stanice, pouze je vynechán čas odjezdu. Poté je ještě v případě, že v posledním segmentu je rychlost nulová (vlak zastavuje v konečné stanici), vynulována hodnota brzděného a rozjezdového zrychlení, a tím i výsledné zrychlení, neboť v nácestných stanicích se

v takovém segmentu vlak vždy rozjíždí. V konečné stanici předpokládáme, že vlak se dál již nerozjíždí. Tato drobná úprava však nemá žádný vliv na výsledné hodnoty, jde spíše o úhlednost grafického vyjádření jízdy.

Jak již bylo naznačeno, může se z různých důvodů stát, že vlak podle zadaných vstupních údajů není schopen překonat trať. V takovém případě se od kritického místa dále v podrobných výsledcích objevuje výraz „NaN“ (not a number) a není tak možné získat konečné výsledky. Jedním z typických příkladů je situace, kdy vyvíjená tažná síla nestačí na překonání aktuálně platných jízdních odporů a momentální rychlost je nulová.

## 3 Vstupní data

Pro všechny soubory ve formátu „.csv“, které jsou popsány dále v této kapitole, platí, že hodnoty v jednotlivých řádcích jsou odděleny středníkem. U uživatelského rozhraní, jež slouží k zadávání údajů o tratích, vozidlech, soupravách a ke stanovení parametrů výpočtu, vždy platí, že jsou-li někde použita tlačítka „Kopírovat“, „Upravit“ a „Odebrat“, uživatel na ně může kliknout jen tehdy, jestliže je vybrána položka v příslušném seznamu. Tlačítko „Storno“ vždy slouží pouze k zavření okna bez provedení vložených změn, tlačítko „OK“ uloží změny do souborů a zavře okno, případně pouze nahrazuje tlačítko „Storno“. U všech údajů vkládaných do textových polí se kontroluje dodržení správného formátu (tedy zda např. místo čísla nebyl zadán text apod.).

### 3.1 Tratě

#### 3.1.1 Soubory s daty o tratích

Soubory, jež obsahují data o tratích, jsou uloženy ve složce „lines“, která má stejné umístění jako soubor programu. Základní informace o všech tratích jsou uloženy společně v souboru „lines\database.csv“, složka „lines“ dále obsahuje soubory se seznamy objektů náležejících k jednotlivým tratím. Jejich název má formát „[název tratě]\_[značka seznamu].csv“.

Každá trať obsahuje následující vlastnosti:

- Název
- Základní rychlost [ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ]
- Poznámka
- Seznam stanic (s)
- Seznam traťových rychlostí – dolní rychlostníky (rd)
- Seznam traťových rychlostí – horní rychlostníky (rh)
- Seznam traťových rychlostí – kulaté rychlostníky (rk)
- Seznam traťových rychlostí – naklápěcí rychlostníky (rn)
- Seznam pomalých jízd (rp)
- Seznam stoupání (p)
- Seznam oblouků (o)
- Seznam tunelů (t)
- Seznam úseků elektrického napájení (u)

V souboru „lines\database.csv“ jsou uloženy první tři vlastnosti. Všechny ostatní soubory ve složce „lines“ obsahují seznamy prvků náležejících k jednotlivým tratím a jako značka seznamu je uveden výraz v kulatých závorkách v seznamu výše. Tyto seznamy jsou tvořeny objekty, jež také mají své specifické vlastnosti. Není-li uvedeno jinak, vždy platí, že délkové míry, resp. údaje o poloze na trati, mají jako jednotku kilometr.

Seznam vlastností pro stanice:

- Název
- Typ
- Vjezd 1

- Odjezd 1
- Místo zastavení
- Odjezd 2
- Vjezd 2
- Odbočná rychlost [ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ]

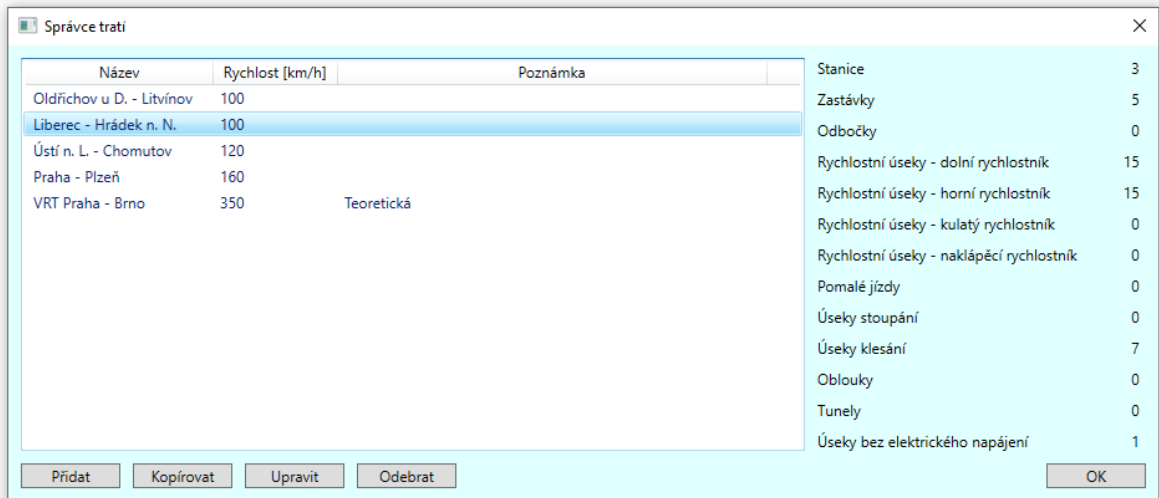
Typ nabývá hodnot 1 (stanice), 2 (zastávka) nebo 3 (odbočka). Na výpočet nemá vliv, jde pouze o zpřehlednění a také pro usnadnění definice údajů uživateli (viz oddíl 3.1.2). Číslo 1 u vjezdu a odjezdu označuje, že je blíže začátku tratě. Vjezd by měl udávat polohu vjezdového návěstidla, případně rezervy pro zpomalení před ním, v odjezdu by měla být uložena poloha, v níž je už možné začít zvyšovat rychlost v případě, že vlak opouští stanici odbočkou. Odbočná rychlost uvádí rychlost, s jakou se smí projíždět stanicí v případě, že není projížděna po hlavních staničních kolejích. Jak už bylo uvedeno v oddíle 2.3, pro základní směr jízdy tato rychlost platí mezi vjezdem 1 a odjezdem 2, pro opačný směr jsou to vjezd 2 a odjezd 1.

Všechny další seznamy obsahují vlastnost „Od“, která udává místo na trati, od kterého směrem dopředu platí daná hodnota. Jedinou výjimkou je seznam pomalých jízd, které obsahují ještě vlastnost „Do“, která stanovuje, do kterého místa pomalá jízda platí, u ostatních seznamů se předpokládá, že platí do dalšího objektu, případně až na konec tratě. Všechny další typy objektů dále obsahují už jen jednu vlastnost. Objekty a jejich unikátní vlastnosti jsou uvedeny v následující tabulce:

Tab. 1: Objekty, z nichž se skládají tratě

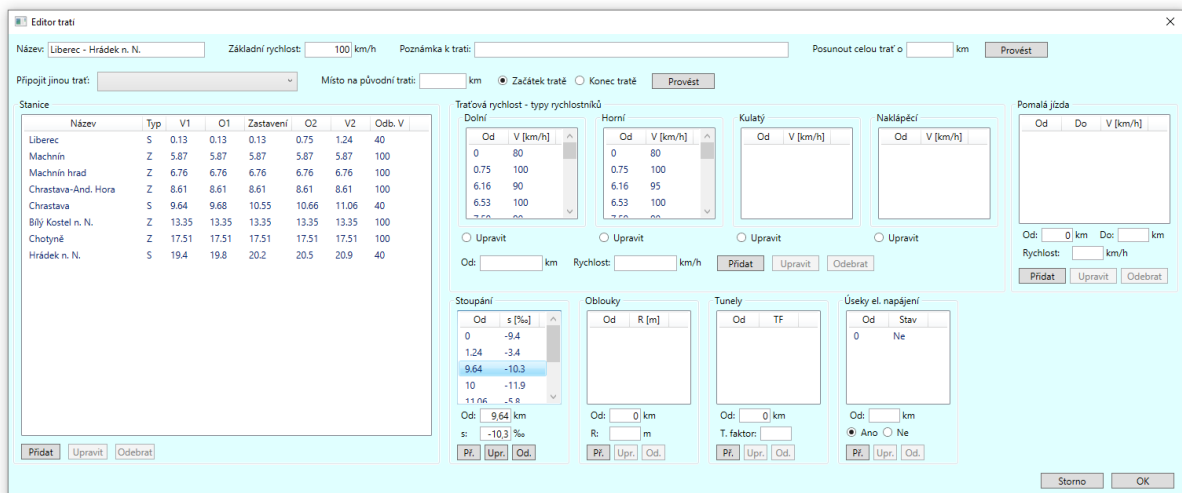
<b>Objekt</b>	<b>Vlastnost</b>	<b>Jednotka</b>
Traťová rychlost – všechny typy	Rychlost	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$
Pomalá jízda	Rychlost	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$
Stoupání	Hodnota stoupání	‰
Oblouk	Poloměr	m
Tunel	Tunelový faktor	1
Úsek el. napájení	Stav	(Ano/Ne)

### 3.1.2 Rozhraní pro definici a úpravu dat o tratích



Obr. 1: Okno správce tratí

Ke správě tratí slouží „správce tratí“ (viz obr. 1). Po kliknutí na určitou trať se vpravo zobrazí různé údaje o trati. Pomocí příslušných tlačítek uživatel může přidat novou trať, případně upravit nebo odebrat stávající trať. Po kliknutí na tlačítko „Přidat“ se otevře tzv. „editor tratí“ (viz obr. 2) bez vyplněných údajů, při kliknutí na tlačítko „Upravit“ nebo „Kopírovat“ se otevře totéž okno, ale s vyplněnými údaji o vybrané trati. V případě úprav trati se původní trať vymaže a nahradí se novou tratí, při kopírování tratí se vytvoří nová trať se shodnými údaji jako u kopírované trati. Správce tratí manipuluje se soubory pouze v případě odebrání tratě, v takovém případě je odebrán příslušný řádek ze souboru „database.csv“ a jsou smazány soubory se seznamy objektů. Změna se provádí ihned po kliknutí na tlačítko „Odebrat“, tlačítko „OK“ tedy pouze zavírá okno.

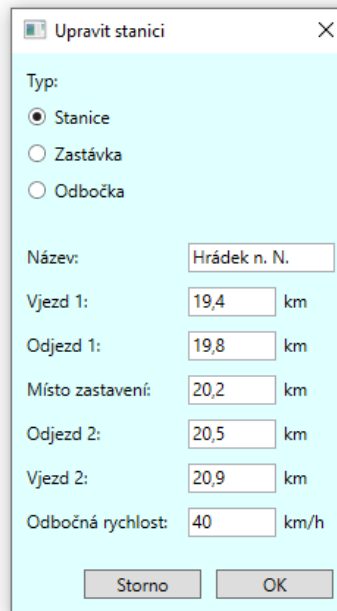


Obr. 2: Okno editoru tratí

Editor tratí představuje poměrně složité okno, které poskytuje prostor pro veškerou práci s tratěmi. Nahoře jsou políčka pro vyplnění základních údajů, tedy názvu, základní rychlosti a poznámky. Je zde také doplňková možnost připojení další tratě. Tím je umožněno jednoduše spojit jednotlivé tratě bez nutnosti ručního kopírování údajů. Neobešlo by se to bez možnosti celou



trať „posunout“, tedy změnit všechny kilometrické hodnoty o určitou vzdálenost, a to oběma směry (možné je zadat i zápornou hodnotu). Platí přitom, a to i při zadávání údajů o objektech, že dovolený rozsah hodnot je -999 až 999 km. Je to z důvodu, aby v seznamu nebyly čtyřciferné hodnoty, navíc vzniklá maximální délka 1998 km je pro většinu výpočtů dostačující. Pokud chce uživatel připojit jinou trať, musí ji zvolit v rozevíracím menu, určit, do jakého kilometru na stávající trati se má připojit a zda se do tohoto bodu má vložit začátek nebo konec vkládané tratě. Kontroluje se přitom, zda byla trať opravdu vybrána a zda nezasahuje mimo povolený rozsah.



Obr. 3: Okno pro přidání nebo úpravu stanice

Všechny seznamy položek obsahují veškeré vlastnosti, které každý objekt má. Platí, že všechny vlastnosti jsou povinné. Pro přidání a úpravu stanic je zde samostatné okno (viz obr. 3), které se zobrazí po kliknutí na příslušná tlačítka, podle toho jeho titulek zní „Přidat stanici“ nebo „Upravit stanici“ (toto platí v programu všude, kde lze určitý prvek přidat nebo upravit). V tomto okně v případě, že uživatel zvolí, že chce přidat či upravit zastávku, může vyplnit pouze název a místo zastavení, ostatní údaje se definují samy tak, že kilometrické hodnoty jsou si rovny a odbočná rychlost má hodnotu nula (není možné zde jet odbočnou rychlostí). Před zanesením změny do seznamu stanic (nikoliv uložení do souboru) po stisknutí „OK“ se kontrolují tyto podmínky:

- Vyplněný název stanice
- Název neobsahuje středník
- Vzestupné pořadí kilometrických hodnot (sousední hodnoty se mohou rovnat)
- Nezáporná hodnota odbočné rychlosti
- Poloha stanice v přípustném rozsahu

Překrývání stanic či shoda hodnot se v tomto případě nekontrolují. Jsou-li všechny tyto podmínky splněny, okno se zavře a stanice je zanesena do seznamu stanic, který je následně seřazen vzestupně podle míst zastavení. Další objekty se již spravují přímo v editoru tratí. U rychlostních profilů je nutné zaškrtnout, které z polí se má editovat, všem slouží stejné ovládací prvky. U všech objektů se shodně kontrolují tyto podmínky:

- Počátek úseku (hodnota „Od“; případně i hodnota „Do“) leží v dovoleném rozsahu
- Na trati není úsek se stejným počátkem
- Vlastnost daného objektu má platnou hodnotu

U pomalé jízdy se musí kontrolovat, zda se úsek nepřekrývá s již existujícím úsekem. Při zadávání oblouků se přímá kolej zadává tak, že má nulový poloměr, byť ve skutečnosti má poloměr nekonečně velkou hodnotu, takto je však vyplnění snazší a výpočetní algoritmus tak pozná, že jde o přímou kolej. Po přidání nebo úpravě jsou vždy objekty seřazeny vzestupně podle polohy.

Po stisknutí „OK“ se kontrolují následující podmínky:

- Vyplněný název tratě
- Správce tratí neobsahuje trať se stejným názvem
- Název tratě neobsahuje středník a podtržítko
- Poznámka neobsahuje středník
- Kladná základní rychlost

Jsou-li podmínky splněny, provedou se změny v uložených souborech podle toho, jaká operace je s tratěmi prováděna. Pokud je upravovaná již existující trať, je tato z databáze odebrána. Poté je ve všech případech do databáze přidána nová trať, jsou vytvořeny soubory se seznamy objektů a okno se zavírá.

## 3.2 Vozidla

### 3.2.1 Soubory s daty o vozidlech

Údaje o vozidlech jsou uloženy ve dvou souborech se stejným umístěním jako soubor programu: „vehicles\_1.csv“, který obsahuje tažená vozidla, a „vehicles\_2.csv“ s informacemi o hnacích vozidlech. V obou souborech každý řádek představuje jedno vozidlo. Vlastnosti společné pro oba typy vozidel jsou následující:

- Název
- Poznámka
- Hmotnost [t]
- Počet dvojkolí
- Délka [m]
- Ekvivalentní rotační hmoty [t]
- Maximální rychlost [ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ]
- Konstanta odporu „a“ [ $\text{N}\cdot\text{kN}^{-1}$ ]
- Konstanta odporu „b“ [ $\text{N}\cdot\text{h}\cdot\text{km}^{-1}\cdot\text{kN}^{-1}$ ]
- Konstanta odporu „c“ [ $\text{N}\cdot\text{h}^2\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{kN}^{-1}$ ]

V tomto případě nejsou konstanty vozidlového odporu shodné s těmi ve vztahu (17). Zde představují měrný vozidlový odpor podle vztahu:

$$o_v = a + b \cdot V + c \cdot V^2 \quad (32)$$

Ekvivalentní rotační hmoty představují navýšení kinetické energie vlaku o energii rotujících součástí, zejména dvojkolí a pohonu. Známe-li součinitel rotačních hmot vozidla, lze tuto hodnotu spočítat pomocí vztahu (3).

Hnací vozidlo obsahuje navíc tyto vlastnosti:

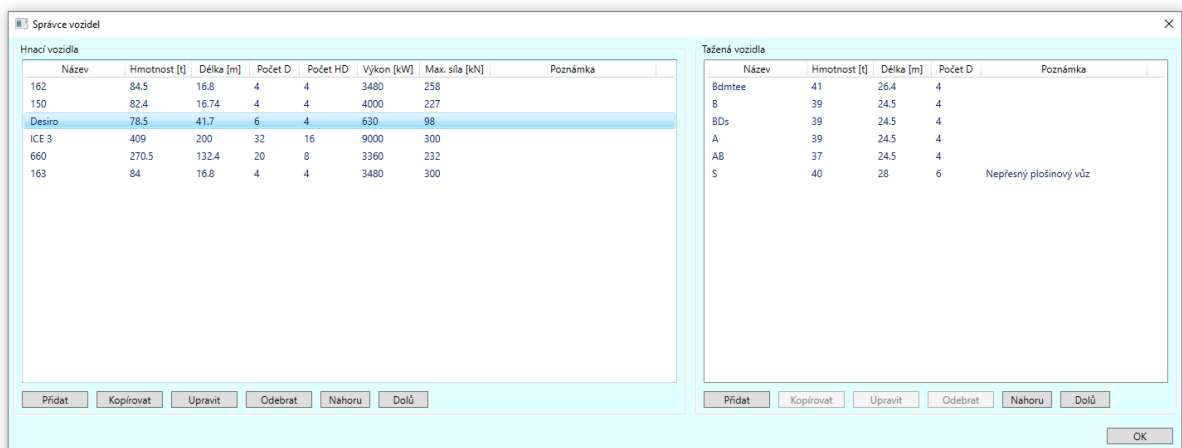
- Počet hnacích dvojkolí
- Výkon [kW]
- Trakční charakteristika
- Maximální tažná síla [kN]
- Závislá trakce
- Čas pro obnovení vyvíjení tažné síly [s]
- Adhezní hmotnost [t]

Trakční charakteristika je tvořena seznamem bodů zlomu, jejichž vlastnostmi jsou rychlost a síla. Závislá trakce je údaj s možnými hodnotami „ano“ nebo „ne“. Adhezní hmotnost není uložena v souborech ani ji nezadává uživatel. Vychází ze zjednodušujícího předpokladu, že hmotnost vozidla je na dvojkolí rozdělena rovnoměrně a vypočítá se následovně:

$$M_{adh} = \frac{n_{hd}}{n_d} \cdot M_v \quad (33)$$

Všechny tyto vlastnosti jsou uloženy v souborech na jednom řádku. Trakční charakteristika tvoří jednu vlastnost, kde jednotlivé body jsou odděleny lomítkem a vlastnosti v bodech dvojtečkou.

### 3.2.2 Rozhraní pro definici a úpravu dat o vozidlech



Obr. 4: Okno správce vozidel

Ke správě dat o vozidlech slouží okno „správce vozidel“ (viz obr. 4), které obsahuje dva seznamy, a to zvlášť pro hnací a tažená vozidla, vždy s vybranými vlastnostmi obou typů. Ke každému seznamu náleží stejná sada tlačítek, která mají obdobnou funkci jako ve správci tratí (viz oddíl 3.1.2), navíc je možné jako doplněk měnit pořadí vozidel (editované vozidlo se vždy automaticky zařadí jako poslední).

V [km/h]	F [kN]
0	98
10	82
20	64
28	51
31	41
37	36

Obr. 5: Okno pro editaci hnacího vozidla

Okno pro editaci hnacího vozidla (viz obr. 5) obsahuje textová pole pro vyplnění základních údajů a také rozhraní pro editaci jeho trakční charakteristiky. Ta nemusí být vytvořena, v takovém případě výpočet aktuálně dostupné tažné síly probíhá pomocí výkonu (viz oddíl 2.5.3). Již známým postupem lze editovat body trakční charakteristiky, přičemž se kontroluje platnost zadaných údajů. Zároveň se edituje doplňkový graf, který se vykreslí vždy při kliknutí na jakékoliv tlačítko v této oblasti a také při kliknutí na zaškrtačací pole „Mřížka“. Musí však také být splněna podmínka vyplnění údajů vlevo (kromě poznámky jsou všechny povinné), které jsou také zdrojem údajů pro graf.

V grafu je na vodorovné ose rychlost a na svislé ose síla. Obsahuje tři křivky; modrou, která tvoří spojnici definovaných bodů, oranžovou (tzv. výkonovou), která se počítá podle výkonu vozidla, a červenou (tzv. adhezní), která tvoří vodorovnou čáru v úrovni adhezní hmotnosti vynásobené tíhovým zrychlením a mezí adheze. Jako mez adheze se využije výchozí hodnota z nastavení (viz oddíl 3.4.2). Tím si uživatel může kontrolovat, zda jsou všechny zadané síly pod ideálními křivkami.

Po kliknutí na „OK“ se kontrolují tyto podmínky:

- Vyplněný název vozidla
- Název a poznámka neobsahují středník, dvojtečku nebo lomítko
- Seznam hnacích vozidel neobsahuje vozidlo se stejným názvem
- Číselné údaje s výjimkou vozidlového odporu a času obnovení jsou kladné
- Počet hnacích dvojkolí není větší než celkový počet dvojkolí
- Pokud je vyplněná trakční charakteristika, musí obsahovat body pro nulovou a maximální rychlost
- Žádná z hodnot rychlosti a síly není větší než maximální příslušná hodnota pro vozidlo

Je-li vše splněno, okno se zavře a změny jsou uloženy do příslušného souboru.

Název:	<input type="text" value="B"/>
Hmotnost:	<input type="text" value="39"/> t
Délka přes nárazníky:	<input type="text" value="24,5"/> m
Počet dvojkolí:	<input type="text" value="4"/>
Ekvivalentní rotační hmoty:	<input type="text" value="1,4"/> t
Max. rychlost:	<input type="text" value="140"/> km/h
Poznámka:	<input type="text"/>
Vozidlový odpor: $ov = a + b \cdot v + c \cdot v^2$ [N/kN; km/h]	
Konstanta a:	<input type="text" value="2,7"/> N.kN <sup>-1</sup>
Konstanta b:	<input type="text" value="0"/> N.h.km <sup>-1</sup> .kN <sup>-1</sup>
Konstanta c:	<input type="text" value="0,00017"/> N.h <sup>2</sup> .km <sup>-2</sup> .kN <sup>-1</sup>

Obr. 6: Okno pro editaci taženého vozidla

Okno pro editaci taženého vozidla je analogické s oknem pro editaci hnacího vozidla, jen obsahuje méně údajů, a to pouze ty, které jsou společné pro oba typy vozidel. Také operace prováděné po stisknutí tlačítka „OK“ jsou obdobné, procházejí se však jen podmínky relevantní i pro tento typ vozidel. Protože se však pro oba typy vozidel používá stejná konstrukce, obsahuje tažené vozidlo také vlastnosti hnacího vozidla. Těm je zpravidla přiřazena nulová hodnota, případně jsou tyto vlastnosti prázdné.

### 3.3 Soupravy

#### 3.3.1 Soubor s údaji o soupravách

Údaje o soupravách jsou uloženy v souboru „carsets.csv“, který má stejné umístění jako soubor programu. Každý řádek v něm představuje soupravu a obsahuje jejich základní vlastnosti:

- Název
- Omezení tažné síly [kN]
- Seznam vozidel
- Poznámka

Tyto vlastnosti definuje uživatel. Seznam vozidel je reprezentován textovým řetězcem s názvy všech vozidel, oddělenými dvojtečkou. Kromě těchto vlastností se pro každou soupravu při výpočtu automaticky zjistí další vlastnosti nutné pro další práci se soupravami (jejich fyzikální jednotky jsou s výjimkou konstant odporu stejné jako u vozidel):

- Krátký zápis
- Hmotnost
- Ekvivalentní rotační hmoty
- Adhezní hmotnost
- Délka

- Maximální rychlost
- Výkon
- Maximální tažná síla
- Konstanta odporu A [N]
- Konstanta odporu B [N·h·km<sup>-1</sup>]
- Konstanta odporu C [N·h<sup>2</sup>·km<sup>-2</sup>]
- Závislá trakce
- Čas pro obnovení vyvíjení tažné síly

Všechny tyto vlastnosti vycházejí z vlastností vozidel, která daná souprava obsahuje. Není-li v dalším popisu uvedeno jinak, jejich hodnota se získá jako prostý součet příslušných vlastností vozidel.

Krátký zápis slouží pouze k přehlednému zobrazení obsažených vozidel (viz Obr. 7). Maximální rychlost vychází odděleně z maximálních rychlostí hnacích a tažených vozidel. Pro hnací vozidla se vyhledá maximální rychlost a pro tažená vozidla minimální hodnota z jejich maximálních rychlostí. Pokud souprava obsahuje pouze hnací vozidla, výsledkem je maximální rychlost hnacích vozidel, jinak je výsledkem menší z obou hodnot. Obsahuje-li souprava pouze tažená vozidla, je výsledná maximální rychlost nulová (na to není podmínka, je to výsledek příslušného algoritmu).

Maximální tažná síla se vybere porovnáním součtu tažných sil všech obsažených hnacích vozidel a omezení tažné síly soupravy. Platí menší z těchto hodnot. Konstanty vozidlového odporu zde již nepředstavují hodnoty pro měrný odpor, jako je tomu u vozidel. Platí následující vztahy:

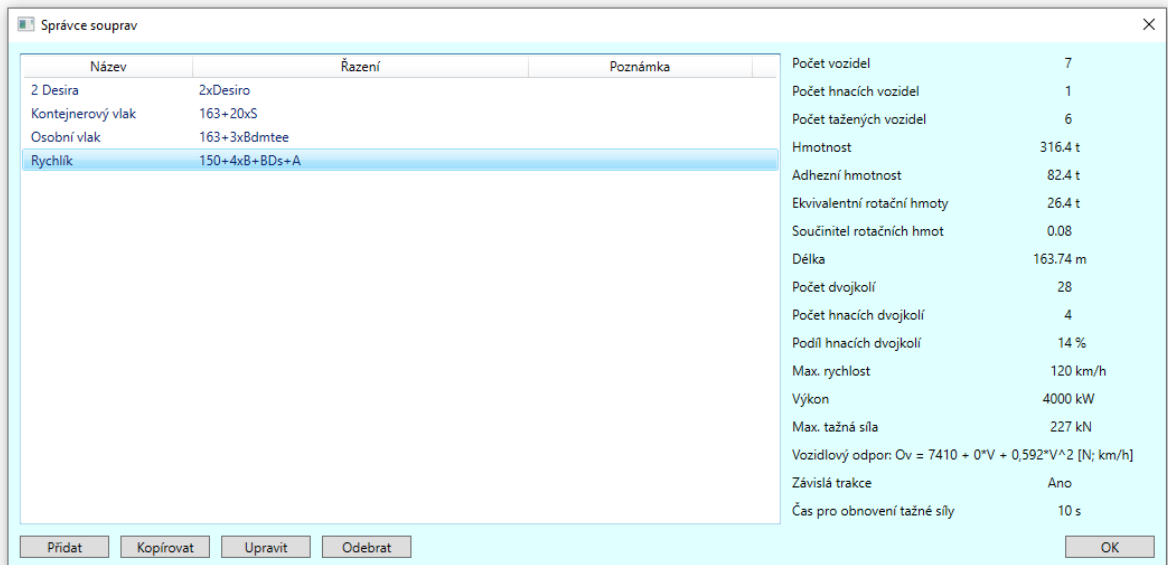
$$A = \sum_{i=1}^{n_v} a_i \cdot M_{v_i} \cdot g \quad (34)$$

$$B = \sum_{i=1}^{n_v} b_i \cdot M_{v_i} \cdot g \quad (35)$$

$$C = \sum_{i=1}^{n_v} c_i \cdot M_{v_i} \cdot g \quad (36)$$

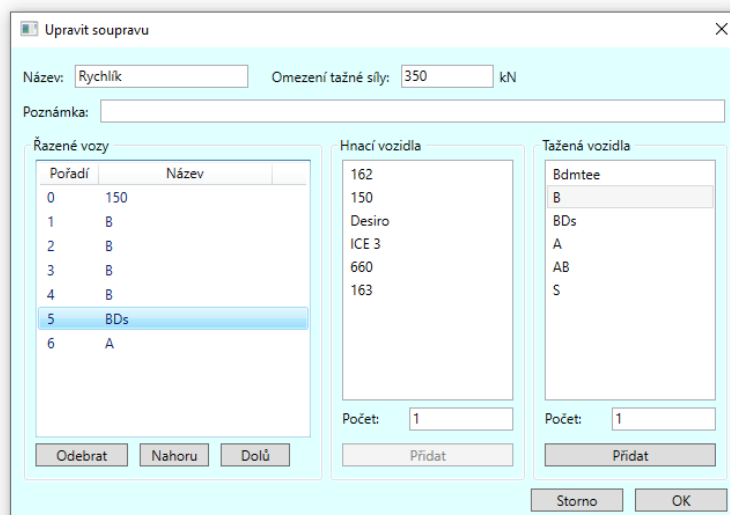
U závislé trakce platí, že pokud alespoň jedno hnací vozidlo v soupravě je v závislé trakci, pak je celá souprava v závislé trakci. Čas pro obnovení vyvíjení tažné síly je shodný s nejvyšší příslušnou hodnotou mezi hnacími vozidly v soupravě.

### 3.3.2 Rozhraní pro definici a úpravu dat o soupravách



Obr. 7: Okno správce souprav

Ke správě dat o soupravách slouží okno „Správce souprav“, které obsahuje seznam souprav s vlastnostmi definovanými uživatelem. Seznam vozidel je reprezentovaný vlastností „Krátký zápis“. Soupravy obsahují také mnoho vlastností, jejichž hodnoty se zjistí automaticky podle hodnot vozidel obsažených v seznamu vozidel (viz oddíl 3.3.1). Tyto vlastnosti se vypisují vpravo od seznamu během klikání na různé položky. Jako u předchozích objektů, i zde je možné stejným způsobem soupravy přidávat, kopírovat, upravovat a odebírat. V tomto okně opět pouze tlačítko „Odebrat“ manipuluje se souborem s daty o soupravách a tlačítko „OK“ slouží pouze k zavření okna.



Obr. 8: Okno pro editaci soupravy

Okno pro editaci soupravy obsahuje komponenty pro definici údajů, které zadává uživatel. Jsou zde dva seznamy položek o jednom sloupci, jeden pro hnací vozidla a druhý pro tažená vozidla. Kromě toho uživatel může zadat jejich počet a po kliknutí na tlačítko „Přidat“ se zadaný počet vozů

objeví v seznamu vozidel v soupravě vlevo. Uživatel pak může vozidla odebírat a měnit jejich pořadí. Po stisknutí tlačítka „OK“ se procházejí tyto podmínky:

- Vyplněný název soupravy
- Název a poznámka neobsahují středník
- V seznamu souprav není jiná souprava se stejným názvem
- Platná hodnota omezení tažné síly
- Počet obsažených vozidel není nulový

Jsou-li všechny podmínky splněny, souprava je vytvořena, příslušný soubor je přepsán a okno se zavře.

## 3.4 Zadání výpočtu

### 3.4.1 Vstupní data výpočtu

Aby bylo možné provádět výpočty s uloženými daty, musí se k některým z nich přidat ještě další vlastnosti, které jsou specifické pro daný výpočet, a také výpočet samotný vyžaduje určité obecné vlastnosti. Ze stanic se stávají tzv. výpočtové stanice, které kromě vlastností stanic obsahují ještě tyto vlastnosti:

- Zastavení
- Odbočení
- Doba stání [s]

U zastavení a odbočení jde pouze o informaci „ano“ nebo „ne“. Zastavení udává, zda má vlak v této stanici zastavit a odbočení definuje, jestli se má do ní vjíždět a vyjíždět z ní odbočkou, tedy při respektování odbočné rychlosti.

Z tratě se ve výpočtu stává tzv. výpočtová trať a obsahuje všechny vlastnosti tratě spolu s následujícími:

- Počáteční výpočtová stanice
- Konečná výpočtová stanice
- Seznam výpočtových stanic
- Všeobecné zastavení
- Všeobecné odbočení

Seznam výpočtových stanic obsahuje pouze stanice od počáteční do koncové stanice včetně obou těchto stanic. Krajní stanice stanovuje uživatel a na začátku výpočtu poloha jejich místa zastavení rozhodne o směru jízdy. Seznam výpočtových stanic se pak vytvoří automaticky. Všeobecné zastavení a odbočení při hodnotě „ano“ obrátí význam zastavení, resp. odbočení u všech stanic. Vlak ve stanicích s hodnotou zastavení „ano“ tak nezastavuje, totéž platí pro odbočení. Jde spíše o usnadnění zadávání údajů.

Následují vstupní vlastnosti samotného výpočtu. Pokud jsou všechny správně definovány, může výpočet proběhnout. Jejich seznam je následující:

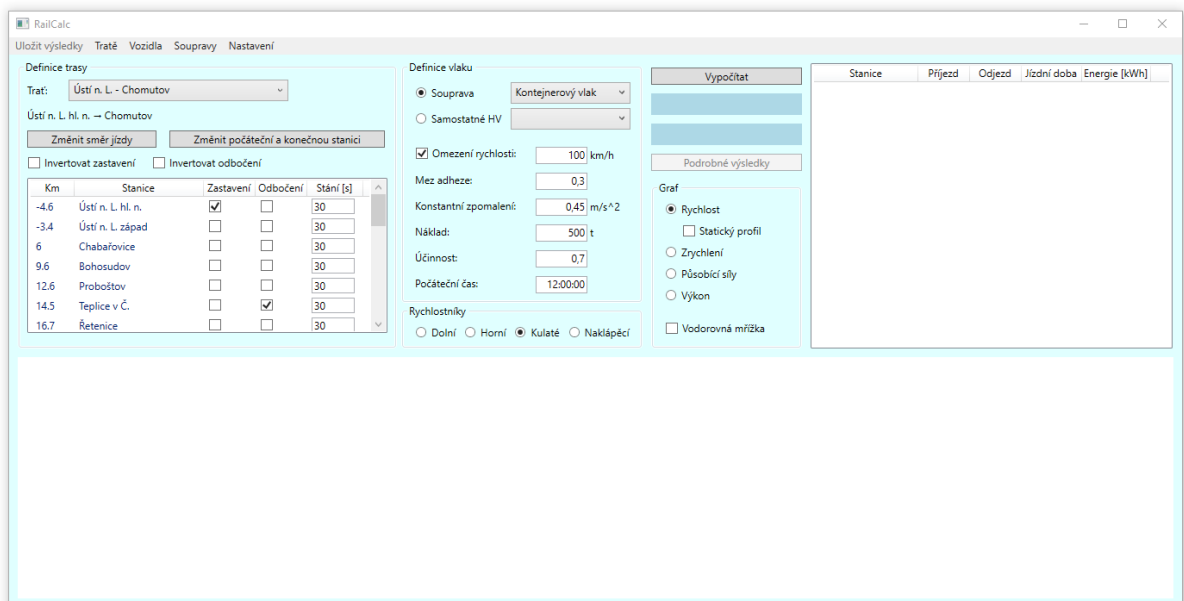
- Výpočtová trať
- Souprava



- Krok výpočtu
- Tíhové zrychlení [ $m/s^2$ ]
- Konstanta  $c_1$  [ $N \cdot m \cdot kN^{-1}$ ]
- Konstanta  $c_2$  [m]
- Přičtení dob stání ke kumulovanému času (Ano/Ne)
- Odložení zrychlování (Ano/Ne)
- Omezení rychlosti [km/h]
- Konstantní zpomalení [ $m/s^2$ ]
- Mez adheze
- Hmotnost nákladu [t]
- Účinnost
- Počáteční čas (h:mm:ss)
- Seznam traťových rychlostí

Omezení rychlosti je dobrovolné; pokud není zadáno, jeho hodnota je rovna maximální rychlosti soupravy, pokud ano, platí pouze tehdy, je-li nižší než maximální rychlost soupravy. Konstantní zpomalení je zadáváno jako kladné číslo. Počáteční čas je čas odjezdu z počáteční stanice. Je také nutné definovat, který ze čtyř seznamů traťových rychlostí má platit pro daný výpočet.

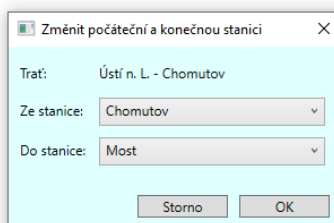
### 3.4.2 Rozhraní pro definici vstupních dat výpočtu



Obr. 9: Hlavní okno se zadáním výpočtu

Hlavní okno programu je rozděleno do několika částí. Části „Definice trasy“, „Definice vlaku“ a „Rychlostníky“ v levé části slouží pro zadání základních údajů pro konkrétní výpočet. Horní menu obsahuje tlačítka pro otevření dalších oken a ukládání výsledků. Trasa je definována vybráním konkrétní tratě v rozbalovacím menu. Stává se z ní výpočtová trať a uživatel může definovat údaje pro aktuální výpočet. Tlačítko „Změnit směr jízdy“ pouze prohodí počáteční a konečnou stanici a přizpůsobí tomu seznam výpočtových stanic. Tlačítko „Změnit počáteční a konečnou stanici“ otevře další okno (viz obr. 10), v němž může uživatel změnit začátek a konec trasy. V tomto okně se po stisknutí tlačítka „OK“ kontroluje, zda byly vybrány obě stanice a zda se neshodují. Po tomto

kroku se opět změní seznam výpočtových stanic a s ním i příslušný seznam položek. Zaškrtačací pole „Invertovat zastavení“ a „Invertovat odbočení“ jsou propojena s vlastnostmi výpočtové tratě „Všeobecné zastavení“ a „Všeobecné odbočení“. Nejsou-li tato pole zaškrtnuta, platí, že zaškrtnuté políčko v seznamu stanic znamená, že vlak v dané stanici zastavuje, resp. odbočuje, v opačném případě platí, že vlak nezastavuje, resp. neodbočuje. To u tratí s více stanicemi usnadňuje zadávání. Ve sloupci „Stání“ se definuje stejnojmenná vlastnost, tedy jak dlouho má vlak v dané stanici stát.



Obr. 10: Okno pro změnu počáteční a konečné stanice

Vlak lze definovat jako soupravu nebo jako samostatně jedoucí hnací vozidlo. V rozbalovacím menu lze vybrat z položek odpovídajících příslušným seznamům. V případě, že uživatel vybere druhou možnost, je vytvořena souprava skládající se pouze z tohoto vozidla a ta pak vstupuje do výpočtu. Dále lze dobrovolně určit omezení rychlosti. Do výpočtu pak jako omezení rychlosti vstupuje buď tato hodnota, nebo maximální rychlost soupravy (to platí i tehdy, není-li omezení rychlosti zadáno, jinak se vybere nižší z obou hodnot). Dalšími vlastnostmi výpočtu, definovanými v tomto okně, jsou mez adheze, konstantní zpomalení, hmotnost nákladu, účinnost a počáteční čas. Nakonec se vybere jeden ze čtyř rychlostních profilů tratě. Ostatní vlastnosti výpočtu jsou definovány v okně „Nastavení“ (viz obr. 11). Jde o vlastnosti, u nichž se předpokládá, že se nebudou měnit příliš často. Jsou jimi krok výpočtu (délka segmentu), kde jsou na výběr hodnoty 10 m, 5 m, 2 m a 1 m, dále tíhové zrychlení, konstanty pro empirický vztah pro výpočet odporu z jízdy obloukem a možnosti přičtení času stání ke kumulovanému času a odložení zrychlování. Jako doplněk toto okno obsahuje další možná nastavení, jimiž jsou výchozí hodnoty, které se mají zobrazit v hlavním okně a také v okně pro editaci stanic (odbočná rychlost, viz obr. 3), a sloupce viditelné v podrobných výsledcích (viz oddíl 4.2). Po kliknutí na tlačítko „OK“ se u všech údajů kontroluje, zda byla zadána platná hodnota. Je-li tomu tak, uloží se nastavení do souboru „settings.csv“, který má stejné umístění jako program, a okno se zavře. V hlavním okně se následně načtou hodnoty z tohoto souboru.

Nastavení

Krok výpočtu  
 10 m  5 m  2 m  1 m

Parametry výpočtu  
Odpor z jízdy obloukem:  $or = c1 / (R - c2)$   
Tíhové zrychlení:  m/s<sup>2</sup>  
Konstanta c1:  N.m/kN  
Konstanta c2:  m  
 Přičítat dobu stání ke kumulovanému času  
 Začít zrychlovat až po projetí celého vlaku

Výchozí zadání  
Doba stání:  s  
Mez adheze:   
Konstantní zpomalení:  m/s<sup>2</sup>  
Náklad:  t  
Účinnost:   
Počáteční čas:   
Odbočná rychlost:  km/h

Podrobné výsledky  
 Pořadí (i)  
 Poloha (p)  
 Stoupání (s)  
 Oblouk (R)  
 Tunel (TF)  
 Napájení (EN)  
 Dovolená rychlost (Vd)  
 Dráha (x)  
 Rychlost (V)  
 Zrychlení (a)  
 Tažná síla (Fok)  
 Vozidlový odpor (Ov)  
 Odpor stoupání (Os)  
 Odpor z jízdy obloukem (Or)  
 Čas (t)  
 Kumulovaný čas (tk)  
 Práce (W)  
 Kumulovaná práce (Wk)  
 Výkon (P)  
 Využití výkonu (uP)  
 Čas pro obnovení vyvážení Fok (to)

Storno OK

Obr. 11: Okno pro nastavení programu

Po vyplnění všech potřebných vlastností může následovat kliknutí na tlačítko „Vypočítat“, které provede výpočet podle algoritmu popsáno v oddíle 2. Ještě předtím se však kontroluje, zda jsou splněny následující podmínky:

- Trať je vybrána
- Souprava je vybrána
- Souprava neobsahuje vůz, který byl po její poslední úpravě smazán
- Souprava nemá nulový výkon (neobsahuje pouze tažená vozidla)
- Jsou zadány platné hodnoty vlastností výpočtu

Jsou-li tyto podmínky splněny, provede se výpočet a na jeho základě se vyplní další části hlavního okna, sloužící pro zobrazení výsledků.

## 4 Výstupní data

### 4.1 Typy a obsah výsledků

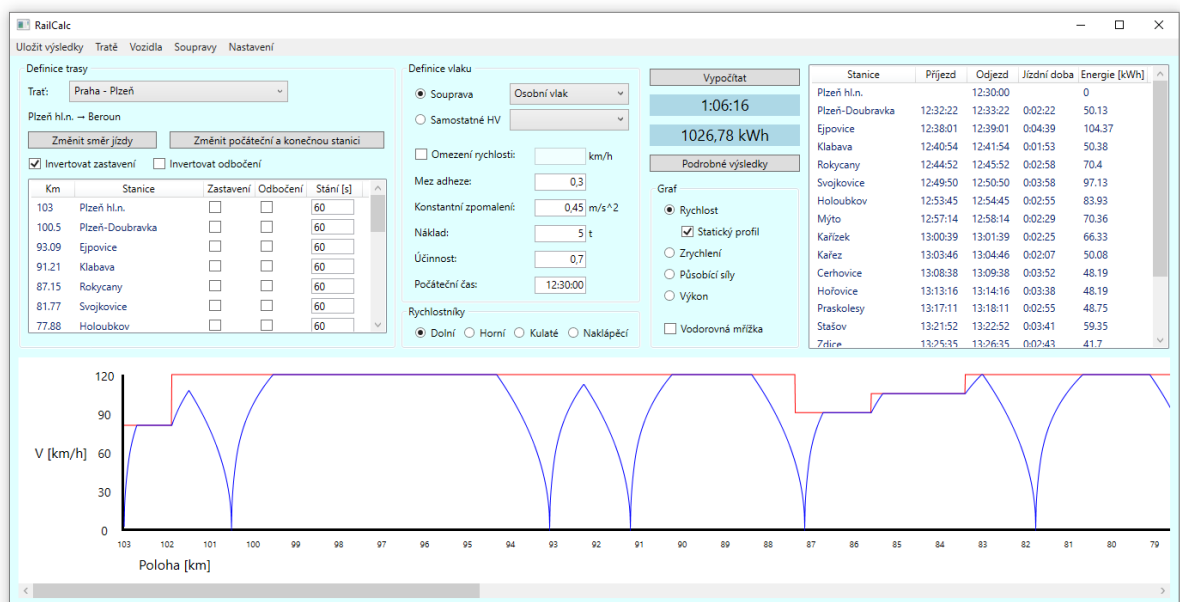
V oddíle 2.1 byly zmíněny tři typy výsledků, a to základní výsledky, mezistaniční úseky a podrobné výsledky. Základní výsledky jsou tvořeny pouze celkovou dobou jízdy včetně časů stání ve stanicích, převedenou ze sekund na formát „h:mm:ss“, a celkovou spotřebovanou energií v kilowatthodinách, která vychází z celkové vykonané práce, jejíž jednotkou je joule. Přepočtení se provádí podle vztahu:

$$E = \frac{W}{\eta \cdot 3,6 \cdot 10^6} \quad (37)$$

Mezistaniční úseky jsou tvořeny seznamem stanic, který byl průběžně vytvářen během výpočtu profilu dosažitelných rychlostí. Je tvořen tabulkou, v níž jsou jednotlivé řádky tvořeny názvem stanice, časem příjezdu, časem odjezdu, dobou jízdy z předchozí stanice a energií spotřebovanou v ujetém úseku. První řádek obsahuje pouze název počáteční stanice a čas odjezdu, poslední řádek reprezentuje konečnou stanici a obsahuje všechny údaje kromě času odjezdu.

Podrobné výsledky jsou tvořeny tabulkou, kde řádky představují všechny segmenty, na něž je vyšetřovaná trať rozdělena. Sloupce odpovídají seznamu vlastností, který je uveden v oddíle 2.1, tabulka neobsahuje pouze délku segmentu.

### 4.2 Rozhraní pro zobrazení výsledků



Obr. 12: Hlavní okno s provedeným výpočtem

K zobrazení základních výsledků, kterými jsou celkový čas včetně dob stání a celková energie, slouží dvě zvýrazněná pole pod tlačítkem „Vypočítat“. Zobrazeny jsou již přepočítané veličiny. Seznam položek vpravo slouží k zobrazení mezistaničních úseků. Tlačítko „Podrobné výsledky“

ukáže stejnojmenné okno s datovou mřížkou (viz obr. 13), jež obsahuje hodnoty pro všechny segmenty. Je také možné se z něj dostat do okna „Nastavení“, kde lze měnit viditelnost jednotlivých sloupců tabulky. Po změně těchto údajů se novému nastavení přizpůsobí vzhled tabulky a také šířka okna. Po zavření okna se nastavení aktualizuje také v hlavním okně. Tato dvě okna jsou jediná, kde je možné měnit jejich velikost, případně roztáhnout za celou obrazovku. Rozměry komponent se tomu přizpůsobí.

i	p [km]	Vd [km/h]	x [m]	V [km/h]	a [m/s <sup>2</sup> ]	Fok [kN]	Ov [kN]	Os [kN]	Or [kN]	t [s]	tk [s]	W [Wh]	Wk [Wh]	P [kW]	uP [%]	to [s]
0	103	80	0	0	1.0032299238664	247.212	3.407994	6.23916	0	0	0	0	0	0	0	0
1	102.99	80	10	16.125668863563	1.0026126099232	247.212	3.5541739701801	6.23916	0	4.4649310741266	4.4649310741266	686.7	686.7	1107.35	32	20
2	102.98	80	20	22.801631187031	1.0020197262030	247.212	3.6945688286594	6.23916	0	1.8496016910091	6.3145327651357	686.7	1373.4	1565.79	45	20
3	102.97	80	30	27.92199666218	1.0014311463976	247.212	3.8339445330476	6.23916	0	1.4194568300261	7.7339899591619	686.7	2060.1	1917.4	55	20
4	102.96	80	40	32.236762414587	1.0008449571231	247.212	3.9727541532291	6.23916	0	1.1968331976942	8.9308227928561	686.7	2746.8	2213.7	64	20
5	102.95	80	50	36.036479626357	1.0002604167726	247.212	4.1111733082417	6.23916	0	1.0545859233815	9.9854087162377	686.7	3433.5	2474.63	71	20
6	102.94	80	60	39.470183223928	0.9996771446801	247.212	4.2492921738441	6.23916	0	0.953558228787	10.938969499116	686.7	4130.2	2710.42	78	20
7	102.93	80	70	42.632419979308	0.9990949145494	247.212	4.387164246844	6.23916	0	0.8770155791310	11.8159825238247	686.7	4806.9	2927.16	84	20
8	102.92	80	80	45.562891497832	0.9985135787408	247.212	4.5248345541765	6.23916	0	0.8164254692369	12.632407992484	686.7	5492.6	3126.8	90	20
9	102.91	80	90	48.319683372854	0.9979330346211	247.212	4.6622974017089	6.23916	0	0.7669154803132	13.399323477797	686.7	6180.3	3318.11	95	20
10	102.9	80	100	50.925985938680	0.99232521674041	246.0040737322	4.7996004959304	6.23916	0	0.7254724614128	14.124795939210	686.7	6867	3480	100	20
11	102.89	80	110	53.391458170926	0.9437038393484	234.64427511781	4.936045960981	6.23916	0	0.6902009593366	14.814996898542	686.7	7550.34464927006	3480	100	20
12	102.88	80	120	55.635023508370	0.9031967069511	225.181894460484	5.0657543988041	6.23916	0	0.6603900161778	15.475386914725	686.7	8202.1343023750	3480	100	20
13	102.87	80	130	57.70064496297	0.8686301408106	217.12062337708	5.1898460331147	6.23916	0	0.6352810283092	16.110667943034	686.7	8827.6395651663	3480	100	20
14	102.86	80	140	59.619739681726	0.8386124927058	210.13174607737	5.3091478046324	6.23916	0	0.6137040909666	16.724372034001	686.7	9430.7524078804	3480	100	20
15	102.85	80	150	61.415647174203	0.8121775818384	203.9871038803	5.4242025009537	6.23916	0	0.5948673513614	17.319239385362	686.7	10014.451702539	3480	100	20
16	102.84	80	160	63.106244913152	0.7886292701282	198.52234936877	5.5357782023926	6.23916	0	0.5782115802536	17.897450965616	686.7	10581.082546651	3480	100	20
17	102.83	80	170	64.705570500969	0.7674506444283	193.61547859024	5.6440059896055	6.23916	0	0.5633282006574	18.4860779166273	686.7	11132.533517120	3480	100	20
18	102.82	80	180	66.224874940552	0.7482481639077	189.17363016911	5.7493049557615	6.23916	0	0.5499102959376	19.010689462211	686.7	11703.35429082	3480	100	20
19	102.81	80	190	67.673328939599	0.7307158363540	185.12461944614	5.8519494151436	6.23916	0	0.5377219095343	19.540411371745	686.7	12295.836597007	3480	100	20
20	102.8	80	200	69.058536979596	0.7146114181256	181.41131492115	5.9521711090125	6.23916	0	0.5265780396814	20.014989414427	686.7	12914.235040783	3480	100	20
21	102.79	80	210	70.386851111130	0.6997401218524	177.98778894399	6.051680893340	6.23916	0	0.516311672463	20.591320578673	686.7	13519.991970305	3480	100	20
22	102.78	80	220	71.66366896081	0.6859431727404	174.81661463427	6.146111329352	6.23916	0	0.5068619246415	21.098182503314	686.7	14108.402495150	3480	100	20
23	102.77	80	230	72.893606847918	0.673085879376	171.86692416164	6.24019780068	6.23916	0	0.4980724274024	21.596254977337	686.7	14690.00202467	3480	100	20
24	102.76	80	240	74.080650243449	0.6610701537597	169.11298643882	6.324140285250	6.23916	0	0.4898817073471	22.086136684664	686.7	15273.1412325138	3480	100	20
25	102.75	80	250	75.228266790793	0.649792935382	166.5314684013	6.423019747330	6.23916	0	0.4822217013568	22.583386866041	686.7	15857.9566340	3480	100	20
26	102.74	80	260	76.339494714018	0.6391798763230	164.10902499074	6.512069677454	6.23916	0	0.475035055102	23.043393441551	686.7	16444.902745592	3480	100	20
27	102.73	80	270	77.417012840425	0.6291641873750	161.82489534435	6.599655786664	6.23916	0	0.4682728630169	23.511666304568	686.7	17034.6109644	3480	100	20
28	102.72	80	280	78.463196687982	0.6196883153868	159.6671378710	6.6858607035127	6.23916	0	0.4618931435736	23.973559448142	686.7	17627.134694594	3480	100	20
29	102.71	80	290	79.480163851399	0.6107023458933	157.62423468858	6.770791810479	6.23916	0	0.4558596179929	24.429419066135	686.7	18226.654732892	3480	100	20
30	102.7	80	300	80	0	13.05373536	6.81457536	6.23916	0	0.4514668047813	24.880885870916	686.7	18834.099629249	290.08	8	20

Obr. 13: Okno s podrobnými výsledky

Vedle toho ještě hlavní okno obsahuje dole plátno pro vykreslení závislostí jednotlivých veličin na poloze. Uživatel má pak lepší představu o jejich průběhu ihned po provedení výpočtu. Vodorovná tlustá čára představuje nulovou hodnotu, přičemž ta se nachází při jejím horním okraji. Je také možné zobrazit vodorovnou mřížku, kterou tvoří vždy 5 čar, které rozdělují svislý směr na čtvrtiny. Minimální a maximální hodnota na svislé ose se vždy vypočítá podle minima a maxima příslušných veličin. U výkonu jde vždy o nulu a výkon soupravy. Zde graf v případě, že nebyla vhodně zadána trakční charakteristika některého z hnacích vozidel, může přesáhnout svislou osu.

Pro volbu mezi zobrazenými veličinami slouží část „Graf“. Průběh rychlosti se také nazývá dráhový tachogram [2, s. 17]. K němu je možné ještě přidat tzv. statický profil, tedy průběh dovolené rychlosti. Dalšími možnostmi jsou průběhy zrychlení, působících sil a aktuálně používaného výkonu. U působících sil je jejich smysl oproti podrobným výsledkům změněn podle toho, zda působí ve směru jízdy (kladné hodnoty), nebo proti němu (záporné hodnoty). Znaménko je tedy změněno u hodnot jízdních odporů. V případě výkonu se zobrazuje na svislé ose hodnota výkonu soupravy, vodorovná mřížka pak dává představu o procentuálním využití výkonu soupravy.

V případě, že během výpočtu došlo k výjimce (podrobné výsledky obsahují nečíselné hodnoty), znamená to, že souprava nemůže splnit zadání a vyjet celou trať. Příčinou může být absence elektrického napájení v místě, kde vlak stojí, doba stání ve stanici, která nestačí k obnovení vyvíjení tažné síly po přerušení napájení, nebo dostupná tažná síla nestačí k překonání jízdních odporů, obvykle odporu stoupání (při dostatečném klesání však může dojít i k tomu, že se vlak rozjede bez působení tažné síly, tedy např. souprava v závislé trakci na trati bez elektrického napájení). Pokud k něčemu takovému dojde, v polích pro základní výsledky se zobrazí pouze pomlčky, v prostoru pro graf se zobrazí chybová hláška a část „Graf“ spolu s tlačítkem „Ulož výsledky“ se zneaktivní.

Seznam mezistaničních úseků zůstane prázdný. Podrobné výsledky je však stále možné zobrazit, aby z nich šlo vyčíst, kde došlo k chybě.

### 4.3 Ukládání výsledků

Po úspěšně provedeném výpočtu má uživatel možnost uložit výsledky do souborů. Po kliknutí na tlačítko „Uložit výsledky“ v horním menu se zobrazí tlačítka s názvy všech tří typů výsledků. Po kliknutí na každé tlačítko se zobrazí klasický dialog pro ukládání souborů s již předdefinovaným názvem a typem souboru a možností vybrat umístění v počítači. Název je možné změnit.

Základní výsledky jsou uloženy v souboru s výchozím názvem ve formátu „[název počáteční stanice] – [název konečné stanice]\_[název soupravy]\_zv.txt“. Tento soubor obsahuje výsledný čas a energii ve stejném formátu, jaký je zobrazen v hlavním okně, a také tyto vstupní údaje:

- Počáteční a konečná stanice
- Počet stanic, kde vlak zastavuje
- Souprava a její složení (krátký zápis)
- Hmotnost nákladu
- Rychlostní profil

Mezistaniční úseky jsou vyexportovány do souboru s výchozím názvem ve formátu „[název počáteční stanice] – [název konečné stanice]\_[název soupravy]\_mu.csv“. V jednotlivých řádcích tohoto souboru jsou uloženy hodnoty pro každý řádek seznamu stanic oddělené středníkem s tím, že první řádek obsahuje názvy sloupců. Při otevření v MS Excel se zobrazí tabulka shodná se seznamem mezistaničních úseků v hlavním okně.

Podrobné výsledky jsou uloženy v souboru s výchozím názvem ve formátu „[název počáteční stanice] – [název konečné stanice]\_[název soupravy]\_pv.csv“. Jde pouze o tabulku shodnou s datovou mřížkou v okně „Podrobné výsledky“, obsahuje však všechny sloupce, bez ohledu na aktuální nastavení jejich zobrazení. První řádek se skládá z označení vlastností segmentů a jejich fyzikálních jednotek, další řádky představují jednotlivé segmenty. Všechny hodnoty jsou odděleny středníkem a soubor lze otevřít v MS Excel, kde je možné s nimi dále pracovat.

## 5 Výpočet pro konkrétní trať a konkrétní vlak

V rámci ověřování správnosti vytvořeného postupu byl proveden zkušební výpočet pro jízdy vlaku po trati Hrádek nad Nisou – Liberec a zpět. Soupravu tvoří motorová jednotka Siemens Desiro Classic [3], v Německu označená jako řada BR 642. Tento výpočet byl následně porovnán s naměřenými údaji ze skutečné jízdy (viz oddíl 6). Vstupní údaje pro výpočet byly poskytnuty vedoucím práce.

### 5.1 Vstupní parametry tratě

Následující údaje vycházejí z tabulek traťových poměrů. Jako základní rychlost na trati byla vybrána hodnota 100 km/h, ve výpočtu však nebude hrát roli, protože bude použit zadaný rychlostní profil. Základní směr je Liberec – Hrádek nad Nisou. Stanice, zastávky a příslušné hodnoty jsou zobrazeny na obr. 14. Jak bylo popsáno v oddíle 3.1, pro zastávky platí, že všechny kilometrické hodnoty jsou stejné a odbočná rychlost je rovna nule, tedy nelze tímto místem jet odbočkou.

Stanice								
Název	Typ	V1	O1	Zastavení	O2	V2	Odb. V	
Liberec	S	0.13	0.13	0.13	0.75	1.24	40	
Machnín	Z	5.87	5.87	5.87	5.87	5.87	100	
Machnín hrad	Z	6.76	6.76	6.76	6.76	6.76	100	
Chrastava-And. Hora	Z	8.61	8.61	8.61	8.61	8.61	100	
Chrastava	S	9.64	9.68	10.55	10.66	11.06	40	
Bílý Kostel n. N.	Z	13.35	13.35	13.35	13.35	13.35	100	
Chotyně	Z	17.51	17.51	17.51	17.51	17.51	100	
Hrádek n. N.	S	19.4	19.8	20.2	20.5	20.9	40	

Obr. 14: Seznam stanic na trati Liberec – Hrádek nad Nisou

Dále byly zadány dva rychlostní profily, a to dolní a horní rychlostníky. Příslušné hodnoty jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2: Rychlostní profily

<b>Od [km]</b>	<b>V [km/h] - dolní r.</b>	<b>V [km/h] - horní r.</b>
0	80	80
0,75	100	100
6,16	90	95
6,53	100	100
7,59	90	90
8,03	100	100
9,83	60	60
10,81	80	80
13,14	85	85
13,6	100	100
14,68	80	80
15,19	100	100
17,36	90	90
18	80	80
19,7	70	70

Podélný profil tratě, tedy údaje o stoupání, byly zadány tak, jak je uvedeno v tab. 3.

Tab. 3: Rychlostní profily

<b>Od [km]</b>	<b>s [‰]</b>
0	-9,4
1,24	-3,4
9,64	-10,3
10	-11,9
11,06	-5,8
19,4	-4,5
20	-11

Pro celou trať dále platí, že je neelektrizovaná a nejsou zadány poloměry oblouků. Tunelový faktor má svou výchozí hodnotu 1.



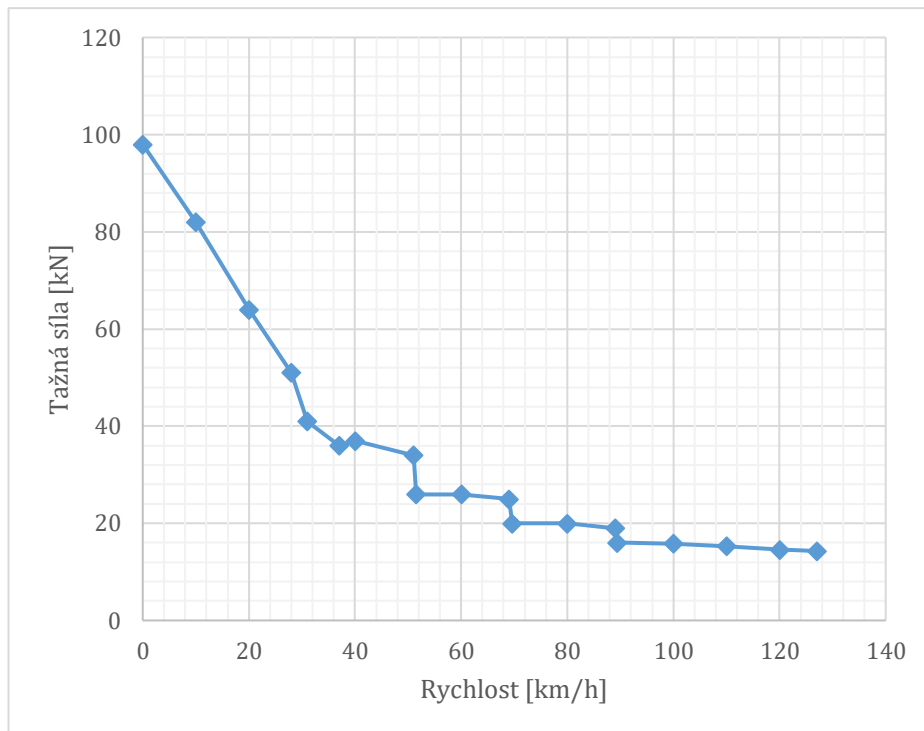
## 5.2 Vstupní parametry vozidla

Soupravu v tomto případě tvoří jediné vozidlo, a to motorová jednotka Desiro (viz úvod oddílu 5). Její vstupní parametry jsou vypsány v tab. 4.

Tab. 4: Vstupní parametry motorové jednotky Desiro

Parametr	Označení	Hodnota
Hmotnost	M	78,5 t
Délka přes nárazníky	L	41,7 m
Počet dvojkolí	$n_d$	6
Ekvivalentní rotační hmoty	$M_r$	4,8 t
Max. rychlost	$V_{max}$	127 km/h
Konstanta odporu – konstantní složka	a	2,1712 N·kN <sup>-1</sup>
Konstanta odporu – lineární složka	b	0 N·h·km <sup>-1</sup> ·kN <sup>-1</sup>
Konstanta odporu – kvadratická složka	c	0,00051 N·h <sup>2</sup> ·km <sup>-2</sup> ·kN <sup>-1</sup>
Počet hnacích dvojkolí	$n_{hd}$	4
Trvalý výkon	P	630 kW
Max. tažná síla	$F_{max}$	98 kN
Závislá trakce		Ne

Dále byla zadána trakční charakteristika, jejíž průběh zobrazuje graf 1.



Graf 1: Trakční charakteristika motorové jednotky Desiro

### 5.3 Vstupní parametry výpočtu

Vlak zastavuje ve všech stanicích a zastávkách uvedených ve vstupních datech tratě. Ve směru Hrádek nad Nisou – Liberec vlak projíždí odbočkou pouze stanicí Liberec, v opačném směru toto platí o stanicích Liberec a Chrastava. Doby stání byly stanoveny podle naměřených údajů. Konstantní zpomalení bylo odhadnuto na základě naměřených údajů, a to podle vztahu (38). Pro každé místo zastavení byla pomocí tohoto vztahu zjištěna hodnota zpomalení a ty byly následně zprůměrovány. Tím vyšla hodnota  $0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ . Omezení rychlosti není zadáno, mez adheze má hodnotu 0,3, účinnost činí 20 %, předpokládaná hmotnost nákladu, v tomto případě cestujících, jsou 2 tuny a jako počáteční čas je vždy uveden ten, kde začíná jízda s naměřenými údaji. Vlak jede podle horních rychlostníků, přesnost výpočtu je 10 metrů.

$$a_b = \frac{V}{3,6 \cdot t} \quad (38)$$

### 5.4 Výsledky výpočtu

Ve směru Hrádek nad Nisou – Liberec činí celková vypočtená jízdní doba 22 minut a 25 sekund, spotřeba energie je 440,69 kWh. V opačném směru jízda trvá 20 minut a 54 sekund a spotřebuje se při tom 264,20 kWh energie. Zejména u spotřeby energie je tedy patrný vliv stoupání směrem na Liberec. Rozpis výsledků pro mezistaniční úseky je uveden v následujícím oddíle, kde jsou jízdní doby porovnány s naměřenými údaji.

## 6 Porovnání výsledků výpočtu s naměřenými údaji

Výpočet popsany v oddíle 5 byl porovnán s naměřenými údaji z reálné jízdy. Jedním z výstupů jsou jízdní doby v mezistaničních úsecích. V tab. 5 až tab. 9 jsou tyto údaje navzájem porovnány.

Tab. 5: Srovnání celkových jízdních dob

Směr	Vypočtený údaj	Naměřený údaj	Rozdíl
Hrádek n. N. – Liberec	0:22:25	0:23:27	-0:00:58
Liberec – Hrádek n. N.	0:20:54	0:21:03	-0:00:09

Tab. 6: Vypočtené hodnoty pro první jízdu

Stanice	Příjezd	Odjezd	Čas	Energie [kWh]
Hrádek n. N.		9:34:43		
Chotyně	9:37:25	9:37:56	0:02:42	57,66
Bílý Kostel n. N.	9:41:35	9:41:52	0:03:39	94,27
Chrastava	9:44:39	9:45:08	0:02:47	58
Chrastava-And. Hora	9:47:22	9:47:47	0:02:14	52,79
Machnín hrad	9:49:48	9:49:59	0:02:01	48,24
Machnín	9:51:17	9:51:50	0:01:18	27,14
Liberec	9:57:08		0:05:18	102,6

Tab. 7: Naměřené hodnoty pro první jízdu

Stanice	Příjezd	Odjezd	Čas
Hrádek n. N.		9:34:43	
Chotyně	9:37:11	9:37:42	0:02:28
Bílý Kostel n. N.	9:41:36	9:41:53	0:03:54
Chrastava	9:44:51	9:45:20	0:02:58
Chrastava-And. Hora	9:47:45	9:48:10	0:02:25
Machnín hrad	9:50:24	9:50:35	0:02:14
Machnín	9:52:04	9:52:37	0:01:29
Liberec	9:58:10		0:05:33

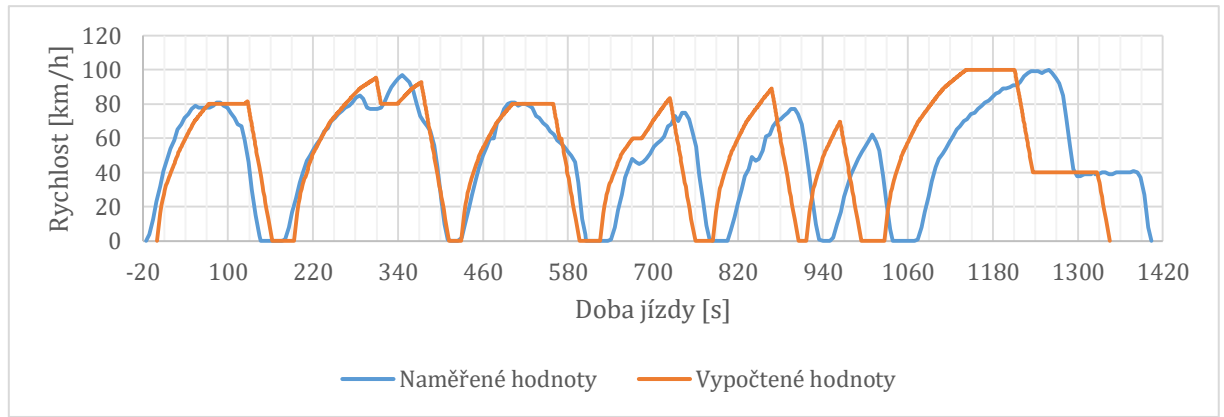
Tab. 8: Vypočtené hodnoty pro druhou jízdu

Stanice	Příjezd	Odjezd	Čas	Energie [kWh]
<b>Liberec</b>		10:08:12		0
<b>Machnín</b>	10:12:53	10:13:00	0:04:41	57,94
<b>Machnín hrad</b>	10:14:16	10:14:22	0:01:16	24,89
<b>Chrastava-And. Hora</b>	10:16:18	10:16:35	0:01:56	40,73
<b>Chrastava</b>	10:19:15	10:19:39	0:02:40	29,61
<b>Bílý Kostel n. N.</b>	10:22:19	10:22:42	0:02:40	24,8
<b>Chotyně</b>	10:26:08	10:26:29	0:03:26	57,98
<b>Hrádek n. N.</b>	10:29:06		0:02:37	28,26

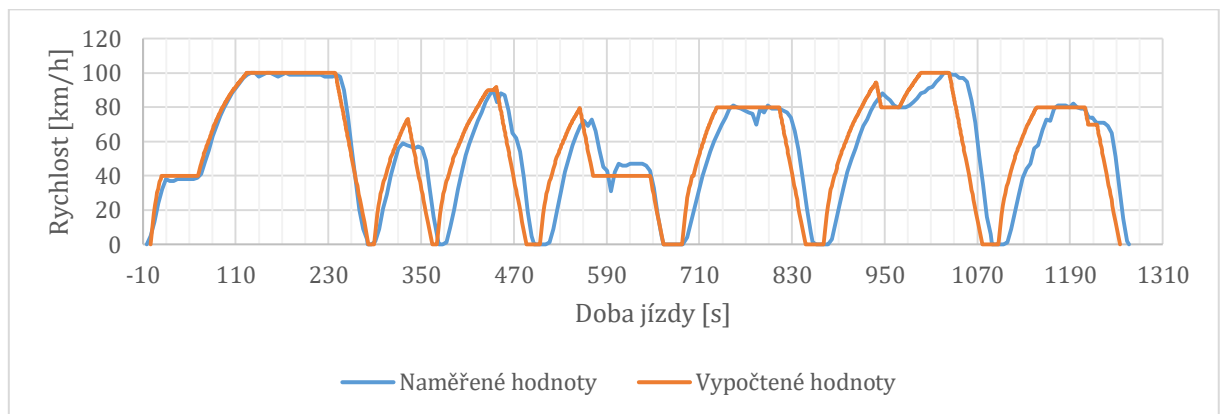
Tab. 9: Naměřené hodnoty pro druhou jízdu

Stanice	Příjezd	Odjezd	Čas
<b>Liberec</b>		10:08:12	
<b>Machnín</b>	10:12:55	10:13:02	0:04:43
<b>Machnín hrad</b>	10:14:27	10:14:33	0:01:25
<b>Chrastava-And. Hora</b>	10:16:30	10:16:47	0:01:57
<b>Chrastava</b>	10:19:18	10:19:42	0:02:31
<b>Bílý Kostel n. N.</b>	10:22:31	10:22:54	0:02:49
<b>Chotyně</b>	10:26:22	10:26:43	0:03:28
<b>Hrádek n. N.</b>	10:29:15		0:02:32

Dále byly vytvořeny grafy pro každou jízdu, kde jsou porovnány křivky pro vypočtené a naměřené hodnoty (viz graf 2 a graf 3). Křivka vypočtených hodnot obsahuje body v časových intervalech odpovídajících ujeté dráze 10 metrů, u naměřených hodnot je to vždy 5 sekund.



Graf 2: Porovnání hodnot pro směr Hrádek n. N. – Liberec



Graf 3: Porovnání hodnot pro směr Liberec – Hrádek n. N.

Na těchto grafech je patrné, jak se vlivem měnění se časové odchylky (obvykle narůstající) od sebe hodnoty na vodorovné ose vzdalují. Je však vidět, že tvarově jsou si jednotlivé části křivek odpovídající mezistaničním úsekům velmi podobné.

## 7 Závěr

V této práci byl podrobně popsán výpočetní algoritmus, který numericky řeší pohybovou rovnici vlaku a umí též zohlednit délku vlaku s tím, že na jeho jednotlivé části mohou působit různě velké traťové odpory, což je výhodné především u dlouhých vlaků. Výsledek je poté přesnější. Výsledkem tohoto algoritmu je tabulka, kde řádky představují jednotlivé segmenty, na něž je trať rozdělena, a sloupce obsahují kinematické, dynamické a další veličiny, zejména polohu, rychlost, zrychlení a působící síly. Následným zpracováním těchto hodnot je pak možné stanovit celkovou dobu jízdy, spotřebu energie a tyto hodnoty také rozepsat pro jednotlivé mezistaniční úseky. Dále je lze využít k vykreslení grafů pro lepší představu o průběhu jízdy.

Aby bylo možné programu přesně říct, s jakými vstupními daty má počítat, bylo vytvořeno uživatelské rozhraní pro definici dat o tratích, vozidlech, soupravách a o samotném výpočtu. Tato data se pomocí ukládání do souborů dají využívat opakovaně. Jako doplňková funkce je zde také možnost uložit do souborů také výstupní data, aby výsledky nebyly s dalším výpočtem nebo zavřením programu vymazány.

Dále byl proveden zkušební výpočet pro konkrétní trať a konkrétní vlak a data z něj byla porovnána s naměřenými hodnotami z reálné jízdy. Jsou zde navzájem porovnány celkové jízdní doby a také dílčí jízdní doby pro mezistaniční úseky. Navíc jsou v grafech vykresleny křivky pro naměřené a pro vypočtené hodnoty, aby bylo lépe vidět, kde se tyto hodnoty shodují a kde se spíše rozcházejí. V těchto grafech sice průběžně narůstá časová odchylka, nicméně je vidět, že tvar jednotlivých částí křivek pro mezistaniční úseky se víceméně shoduje. Odchylky mohly vzniknout např. z ne zcela přesných dob stání nebo z toho, že ne vždy strojvůdce vlaku naplno využije možnosti tratě nebo vozidla. Také průjezd stanic po vedlejších staničních kolejích má v tomto programu své limity, neboť vlak může po projetí zhlaví mírně zrychlit. Může též jet výběhem a také po fázi rozjezdu nenásleduje obvykle ihned fáze brzdění, ale je zde určitá prodleva. Přesto můžeme říct, že popsany model dává důvěryhodné výsledky, což dokládá porovnání jízdních dob.

Takto napsaný program může najít mnoho různých využití. Pokud by chtěl uživatel tvořit jízdní řád, ať už doopravdy (na což však již existují specializované programy), nebo jen ze zvědavosti či pro zábavu, může tento program dobře posloužit. Případné přírážky k jízdním dobám [2, s. 85-86] lze zahrnout do dob stání. Lze také porovnat jízdní doby nebo spotřebu energie pro různé případy, např. různé traťové rychlosti, zahrnutí pomalé jízdy, využití různých souprav s různými vozidly a mnoho dalších případů.

## Literatura

- [1] Co je to WPF? *WPF Tutorial* [online]. [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.wpf-tutorial.com/cs/1/o-wpf/co-je-to-wpf/>
- [2] MICHÁLEK, Tomáš a Jaromír ZELEŇKA. *Trakční mechanika*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2018. ISBN 978-80-7560-175-9.
- [3] POHL, Jiří. Desiro Classic. *Dráha*. Praha: Nadatur, 2003, (8), 21-24. ISSN 1211-1260.