

## Příloha 1 – Simulační program pro dráhový diagram

Tato příloha popisuje simulační program, který jsem vytvořil v rámci diplomové práce pro simulaci průjezdu vozidla určitou dráhou. Aby mohla simulace proběhnout v pořádku, musí být všechny soubory v jednom adresáři.

### 1 Vstupní soubory

Pro zadání vstupních hodnot simulace jsou použity dva sešity aplikace Microsoft Excel s koncovkou .xlsx. Jeden pro data vozidla a druhý pro data dráhy.

#### 1.1 Vstupní soubor vozidla

V sešitě s názvem Data\_vozidlo.xlsx jsou všechny hodnoty týkající se vozidla, které jsou potřebné pro provedení simulace. Název souboru je možné měnit a mít tak připravených několik souborů k provádění simulací. Běžný uživatel vyplňuje pouze bíle podbarvené buňky.

Krátký popis parametrů:

- Vnější charakteristika motoru – Zadává se pomocí otáček motoru za minutu a krouticího momentu motoru v Newton metrech. Je nutné, aby byly vyplněny všechny bíle podbarvené buňky. Řádek výkonu motoru se dopočítává ze zadaných hodnot a slouží pouze pro kontrolu.
- Maximální otáčky motoru – Během simulace nepřekročí otáčky motoru zadanou hodnotu v otáčkách za minutu.
- Účinnosti – Zadávají se hodnoty účinnosti jednotlivých částí pohonného řetězce. Hodnoty účinností by se měly pohybovat v intervalu od 0 do 1.
- Maximální prokluz kol – Hodnota v %, která vyjadřuje maximální relativní rozdíl mezi obvodovou rychlostí kol a rychlostí vozidla. Této hodnoty dosahuje simulační model, pokud je hnací síla rovna maximální přenositelné síle v kontaktu kolo vozovka.
- Poloměr kola – Pro co nejpřesnější výsledky simulace by měla hodnota odpovídat dynamickému poloměru kola v metrech.
- Stálý převod – Hodnota odpovídající převodu v rozvodovce.

- Převodový poměr stupně – Tento řádek se vyplňuje převodovými poměry jednotlivých převodových stupňů. Pokud se převodový stupeň ve vozidle nenachází, vyplňuje se buňka hodnotou 0,1, aby nedošlo k problému v průběhu simulace.
- Součinitel rotačních hmot – Hodnota reprezentující účinek setrvačnosti rotačních hmot vozidla na dynamiku vozidla. Vyplněnou hodnotou se násobí hmotnost vozidla pro výpočet podélného zrychlení, pokud je zařazený konkrétní převodový stupeň.
- Čas přerazení – Čas v sekundách, po který se přeruší tok momentu od motoru ke kolům během řazení.
- Hmotnost vozidla – Hodnota odpovídající hmotnosti vozidla připraveného k jízdě bez hmotnosti jezdce v kilogramech.
- Hmotnost jezdce – Hodnota odpovídající hmotnosti jezdce bez jeho výstroje v kilogramech.
- Hmotnost výstroje – Hodnota odpovídající hmotnosti kompletní výstroje jezdce v kilogramech.
- Celková hmotnost – Hodnota, se kterou pracuje simulační program. Je součtem všech tří výše uvedených hmotností. (Dopočítávaná hodnota)
- Poměrná vzdálenost těžiště od zadní nápravy – Udává poměrnou vzdálenost těžiště od osy zadní nápravy v podélném směru v poměru k rozvoru náprav.
- Hmotnost na zadní nápravě – Podíl celkové hmotnosti, který připadá na zadní nápravu. Dopočítává se ze zadaných hodnot.
- Hmotnost na přední nápravě – Podíl celkové hmotnosti, který připadá na přední nápravu. Dopočítává se ze zadaných hodnot.
- Výška vozidla – Maximální výška vozidla v metrech.
- Šířka vozidla – Maximální šířka vozidla bez bočních zpětných zrcátek v metrech.
- Čelní plocha – Dopočítávaná hodnota z předchozích dvou, vzorec možné upravit.
- Součinitel odporu vzduchu  $c_x$  – Hodnota součinitele odporu vzduchu pro podélný odpor.

## 1.2 Vstupní soubor dráhy

V sešitě s názvem Data\_draha.xlsx jsou všechny parametry dráhy, které jsou nutné pro provedení simulace. Název souboru je možné měnit a mít tak připravených několik souborů k provádění simulací. Běžný uživatel vyplňuje pouze bíle podbarvené buňky.

Krátký popis parametrů:

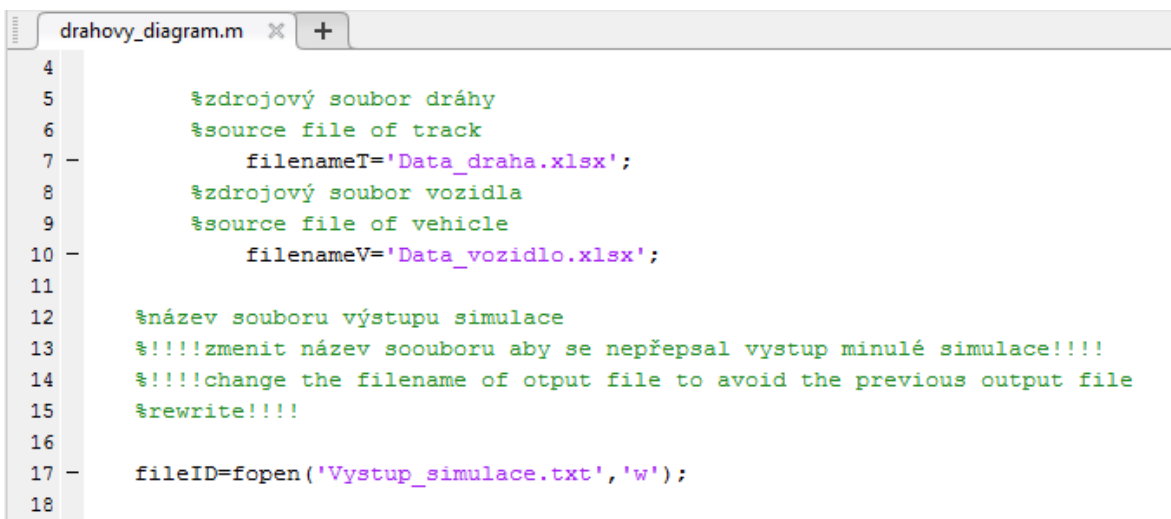
- Název dráhy – Slouží k identifikaci vstupních dat i výstupní zprávy.
- Délka úseku – V tomto sloupci se vyplňují délky jednotlivých úseků dráhy v metrech pro vytvoření profilu zakřivení dráhy. Pokud budou úseky příliš krátké, může dojít ke zkreslení výsledků (viz Výpočetní model).
- Poloměr zakřivení – V tomto sloupci se vyplňují poloměry zakřivení jednotlivých úseků dráhy v metrech daných délkami v předchozím sloupci. Pro rovné úseky se vyplňuje hodnota 1000000 metrů. Tento sloupec musí mít vždy o jeden vyplněný řádek navíc, než sloupec předchozí. Poslední řádek reprezentuje omezení rychlosti zakřivením na konci dráhy nebo za cílem dráhy. Pokud je dráha typu okruh, měla by hodnota v této poslední buňce být shodná s hodnotou první buňky tohoto sloupce. Hodnota v první buňce udává počáteční podmínku rychlosti pro simulaci, proto je vhodné začínat zakřiveným úsekem.
- Konec úseku – Sloupec dopočítávaných hodnot, kde se postupně sčítají délky jednotlivých úseků. Je nutné zkopírovat vzorec do stejného počtu řádků, jako má sloupec poloměr zakřivení. Hodnota v prvním řádku musí být 0.
- Křivost – Dopočítávaný sloupec hodnot, kde se počítá křivost dráhy v jednotlivých úsecích. Je nutné zkopírovat vzorec do stejného počtu řádků, jako má sloupec poloměr zakřivení.
- Délka úseku stoupání - V tomto sloupci se vyplňují délky jednotlivých úseků dráhy v metrech pro vytvoření profilu stoupání dráhy.
- Úhel stoupání - Dopočítávaný sloupec hodnot, kde se počítá stoupání dráhy v jednotlivých úsecích. Je nutné zkopírovat vzorec do stejného počtu řádků, jako má sloupec stoupání.
- Konec úseku stoupání – Sloupec dopočítávaných hodnot, kde se postupně sčítají délky jednotlivých úseků stoupání. Je nutné zkopírovat vzorec do stejného počtu řádků, jako má sloupec stoupání. Hodnota v prvním řádku musí být 0.
- Stoupání – Hodnota výšky v metrech, o kterou se změní výška povrchu dráhy na úseku daném sloupcem délka úseku stoupání. Tento sloupec musí mít vždy o jeden vyplněný řádek navíc, než sloupec délka úseku stoupání. Poslední řádek reprezentuje stoupání na konci dráhy nebo za cílem dráhy. Pokud je dráha typu okruh, měla by hodnota v této poslední buňce být shodná s hodnotou první buňky tohoto sloupce.
- Gravitační zrychlení – Je hodnota gravitačního zrychlení v místě dráhy v metrech za kvadrát sekundy. Pro simulaci je považováno za konstantní po celé délce dráhy.

- Součinitel adheze – Hodnota adhezního součinitele dráhy. Pro simulaci je považován za konstantní po celé délce dráhy.
- Součinitel valivého odporu - Hodnota součinitele valivého odporu. Je třeba brát v úvahu i vlastnosti vozidla. Pro simulaci je považován za konstantní po celé délce dráhy.
- Hustota vzduchu – Hodnota hustoty vzduchu v kilogramech na kubický metr v oblasti dráhy, slouží pro výpočet odporu vzduchu. Pro simulaci je považována za konstantní po celé délce dráhy.

## 2 Skript programu Matlab

Nyní už se dostávám ke skriptu programu Matlab s názvem `drahovy_diagram.m`.

Na začátku jsou názvy souborů, se kterými bude skript pracovat. Nejprve jsou, na řádcích 7 a 10, názvy vstupních souborů. Ty je potřeba změnit na názvy souborů, které budou použity pro simulaci. Na řádku 17 je příkaz k vytvoření výstupního souboru, jehož název je nutné změnit, zejména pokud simulace následuje po jiné, protože by došlo k přepsání výsledků předchozí simulace.



```

4
5     %zdrojový soubor dráhy
6     %source file of track
7     filenameT='Data_draha.xlsx';
8     %zdrojový soubor vozidla
9     %source file of vehicle
10    filenameV='Data_vozidlo.xlsx';
11
12    %název souboru výstupu simulace
13    %!!!!zmenit název soouboru aby se nepřepsal vystup minulé simulace!!!!
14    %!!!!change the filename of otput file to avoid the previous output file
15    %rewrite!!!!
16
17    fileID=fopen('Vystup_simulace.txt','w');
18
    
```

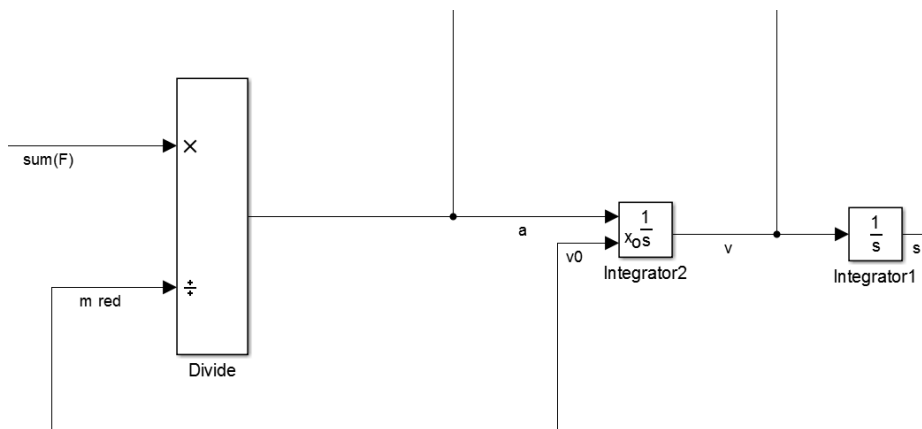
Obrázek 1 (Výstřížek z úvodu skriptu pro Matlab) [zdroj: autor]

Po přepsání názvů souborů je možné skript spustit. Ten nejprve nahraje hodnoty ze vstupních souborů do pracovního prostředí programu Matlab. Následně spustí simulační model sestavený v prostředí Simulink. Po proběhnutí simulace vypíše skript výsledky do výstupního souboru a vytvoří grafy výsledku simulace. Základní výsledné hodnoty vypíše přímo do příkazového řádku programu Matlab.

### 3 Výpočetní model

Výpočetní model pro simulaci `drahovy_diagram_sim.slx` je vytvořen v prostředí Simulink. Model uvažuje vozidlo s těžištěm v úrovni vozovky, takže nezahrnuje dynamické přítěžování jednotlivých kol ani v příčném, ani v podélném směru.

Základem výpočetního modelu je řešení základní Newtonovy pohybové rovnice pro podélnou dynamiku. Podílem součtu všech sil působících na vozidlo v podélném směru a redukované hmotnosti vozidla, vychází okamžité zrychlení vozidla, které vstupuje do integrátoru, jehož výstupem je okamžitá rychlost vozidla. Počáteční podmínkou tohoto integrátoru je adhezní omezení rychlosti s ohledem na boční sílu při průjezdu obloukem. Okamžitá rychlost vozidla pak vstupuje do druhého integrátoru, jehož výstupem je ujetá vzdálenost. Počáteční podmínka je nulová, neboť dráha začíná od nuly.



Obrázek 2 (Výstřížek z prostředí Simulink – jádro modelu) [zdroj: autor]

Součet všech sil působících na vozidlo v podélném směru zahrnuje všechny jízdní odpory a hnací sílu od pohonného řetězce. Velikost hnací síly je pak řízena na základě omezení rychlosti v daném úseku, které je dáno adhezním omezením při průjezdu zatáčkou. Pokud je okamžitá rychlost vozidla nižší než omezení rychlosti, řídí se hnací síla vnější charakteristikou motoru a ideálním převodovým stupněm pro aktuální rychlost vozidla. Při přeřazení z jednoho převodového stupně na druhý je po dobu danou vstupní hodnotou čas přeřazení hnací síla rovna nule. Pokud by tato okamžitá rychlost byla vyšší než rychlostní omezení, odpovídá hnací síla brzdění na mezi adheze. Zároveň v každém časovém kroku probíhá výpočet potřebné brzdě dráhy ke snížení rychlosti na hodnotu rychlostního omezení v následujícím úseku. Pokud je brzdě dráha menší nebo rovna aktuální vzdálenosti k dalšímu úseku opět se hnací síla mění na brzdě sílu na mezi adheze. Proto je nutné, aby jednotlivé úseky dráhy nebyly příliš krátké, především aby

před úsekem s velkou křivostí (nízkým rychlostním omezením) nebyl krátký úsek, na kterém by nebylo možné snížit dostatečně rychlost. Výpočetní model dokáže předvídat pouze o jeden úsek dopředu, a tak by vozidlo nezačalo brzdit včas a simulace by tak byla nerelevantní.

Všechny tyto výpočty a rozhodovací procesy zajišťují subsystémy, které jsou součástí výpočetního modelu. Ukončení simulace zajistí porovnávací rozhodovací kritérium, které porovnává dosud ujetou dráhu a celkovou délku dráhy. Pokud dojde k rovnosti těchto hodnot, simulace končí.

Výsledné hodnoty a jejich průběhy se po proběhnutí simulace exportují do pracovního prostředí programu Matlab. Ty jsou následně zpracovány pomocí skriptu `drahovy_diagram.m` (viz Skript programu Matlab).