



**Jaromír Zelenka – Tomáš Michálek**

# **Programový systém SJKV-V4N v. 1.0**

**Technická a uživatelská dokumentace**

Pracovní balíček:

## **5 – Vzájemné účinky vozidla a dopravní cesty**

Rok řešení:

**2018**



**UNIVERZITA PARDUBICE**

Dopravní fakulta Jana Pernera

**Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

**Oddělení kolejových vozidel**

Dislokované pracoviště Česká Třebová

# **PROGRAMOVÝ SYSTÉM SJKV-V4N V. 1.0, TECHNICKÁ A UŽIVATELSKÁ DOKUMENTACE**

Číslo dokumentu:	<b>CKDV/WP5-2018-TM-01</b>
Projekt:	ev. č. <b>TE01020038</b> – pracovní balíček <b>WP5</b> <b>„Centrum kompetence drážních vozidel“</b>
Identifikační č. výstupu:	<b>TE01020038V028</b>
Vedoucí prac. balíčku:	<b>doc. Ing. Jaromír ZELENKA, CSc.</b>
Řešitel:	<b>Ing. Tomáš MICHÁLEK, Ph.D.</b>
Termín řešení:	2018
Číslo výtisku:	
Počet výtisků:	
Počet stran textu:	17
Počet stran příloh:	2

## Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Základní charakteristika programového systému SJKV-V4N v. 1.0.....</b>	<b>4</b>
<b>3 Manuál k programovému systému SJKV-V4N v. 1.0 .....</b>	<b>7</b>
3.1 Umístění a spuštění programu.....	7
3.2 Definice vstupních dat.....	8
3.3 Simulační výpočet .....	13
3.4 Analýza výsledků simulačních výpočtů .....	14
<b>Literatura.....</b>	<b>17</b>
<b>Příloha: Licenční podmínky pro užití programového systému SJKV-V4N verze 1.0 .....</b>	<b>18</b>

# 1 Úvod

**Programový systém SJKV-V4N verze 1.0** byl vyvinut na Dislokovaném pracovišti Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice v České Třebové v rámci řešení projektu aplikovaného výzkumu Technologické agentury České republiky ev. č. TE01020038 „*Centrum kompetence drážních vozidel*“ v pracovním balíčku WP5 „*Vzájemné účinky vozidla a dopravní cesty*“. Tento software, jehož označení je zkratkou pro: „**Simulace jízdy kolejového vozidla – čtyřnápravové vozidlo,**“ slouží pro realizaci simulačních výpočtů jízdních a vodicích vlastností vybraných typů železničních kolejových vozidel, založených na aplikaci principu tzv. multi-body simulací.

Tento dokument je technickou a uživatelskou dokumentací k vytvořenému programovému systému, ve kterém je popsána jeho struktura a funkce a který je zároveň návodem, jakým způsobem je možné s tímto softwarovým nástrojem pracovat.

**Programový systém SJKV-V4N verze 1.0 je určen výhradně pro nekomerční využití;** licenční podmínky pro užití software jsou uvedeny v příloze tohoto dokumentu.

## 2 Základní charakteristika programového systému SJKV-V4N v. 1.0

Programový systém SJKV-V4N umožňuje provádět simulační výpočty jízdy vybraných typů čtyřnápravových kolejových vozidel. Konkrétně lze ve verzi 1.0 vybírat z následujících typů:

- čtyřnápravové vozidlo s dvoustupňovým vypružením a s dvounápravovými bezkolébkovými podvozky (typicky např. moderní lokomotiva);
- čtyřnápravové vozidlo s dvoustupňovým vypružením a s dvounápravovými kolébkovými podvozky (typicky např. osobní vůz);
- čtyřnápravové vozidlo s dvounápravovými podvozky s jednostupňovým vypružením, kulovou tornou a vypruženými kluznicemi (typicky např. nákladní vůz).

Strukturu programového systému SJKV-V4N (obr. 1) je možné rozčlenit do těchto základních bloků:

- definice vstupních dat (*preprocessing*);
- simulace jízdy kolejového vozidla (numerický výpočet);
- analýza výsledků simulačního výpočtu (*postprocessing*).

V rámci definice vstupních dat pro simulační výpočet se vybírá typ vyšetřovaného vozidla (viz výše), přičemž je na volbu typu vozidla navázáno zadávání jeho konkrétních parametrů, které mohou být ukládány a opětovně načítány do/z vstupních souborů \* .VDx. V omezeném rozsahu lze volit rovněž parametry koleje (trasování, nerovnosti), parametry kontaktu dvojkolí–kolej, parametry simulace (rychlost jízdy, délka dráhy simulace, integrační krok, krok výpisu výsledků) atd. Vstupní data simulace následně vstupují do systému a po provedení analýzy výsledků simulačního výpočtu jsou pro možnost zpětné kontroly dostupná v textovém souboru \* .VDS. Podrobný popis procedury definice vstupních dat je uveden dále.

Struktura výpočtového jádra programového systému SJKV je založena na programových jednotkách, jež v uzavřeném cyklu řeší dílčí problémy simulace (viz schéma na obr. 1). Dynamický model vozidla má v systému podobu soustavy tuhých těles, vzájemně spolu vázaných pružnými a tlumicími vazbami, jež mohou být v některých případech nelineární. V každém kroku výpočtu jsou tak řešeny tyto úlohy:

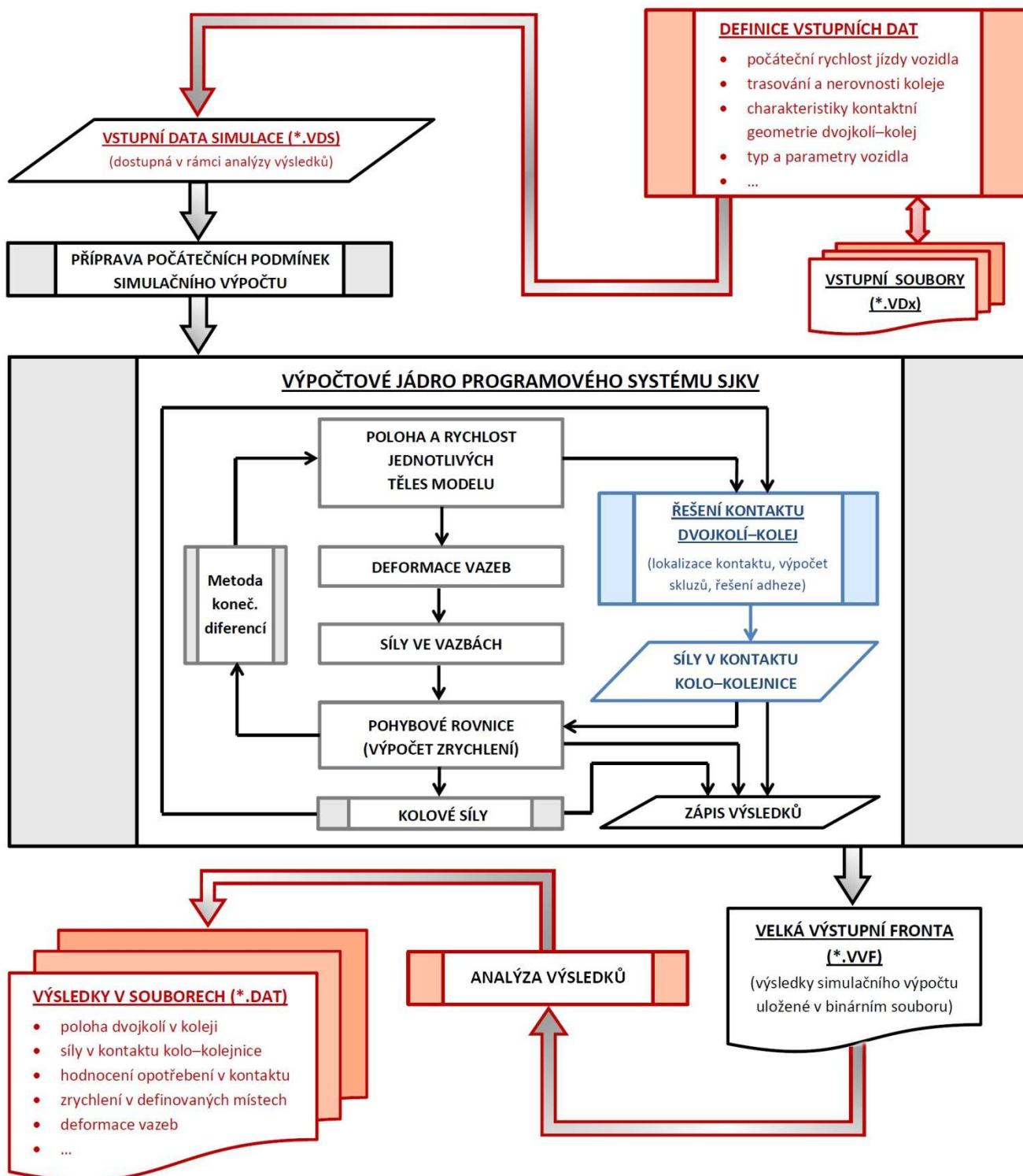
- stanovení polohy a rychlosti jednotlivých těles modelu v jednotlivých stupních volnosti;
- výpočet deformací jednotlivých vazeb a rychlostí těchto deformací;
- výpočet sil ve vazbách na základě znalosti charakteristik těchto vazeb;
- výpočet zrychlení jednotlivých těles modelu v jednotlivých stupních volnosti na základě pohybových rovnic.

Paralelně s výpočtem sil v jednotlivých vazbách modelu vozidla jsou také řešeny:

- kolové síly s využitím vlastností modelu koleje, ve kterém je ke každému kolu přiřazena ekvivalentní hmota kolejnice, definovaná svojí hmotností a vázaná ve svislém a příčném směru pružnou a tlumicí vazbou k základnímu souřadnému systému;

- poměry v kontaktu dvojkolí–kolej, kde jsou s využitím *adhezního modelu prof. Polácha* [1] vypočteny skluzové a vodící síly.

K numerickému řešení pohybových rovnic, tzn. k výpočtu polohy a rychlosti jednotlivých těles modelu v následujícím integračním kroku na základě znalosti zrychlení a polohy v krocích předcházejících, využívá programový systém SJKV *metodu konečných diferencí* (viz např. [2]).



Obr. 1 Struktura programového systému SJKV-V4N.

Z hlediska složitosti modelu vozidla je ve všech případech uvažováno sedm tuhých těles, kterými jsou:

- 4 dvojkolí;
- 2 podvozky, resp. rámy podvozků;
- model skříně vozidla, který umožňuje uvažovat konečnou torzní tuhost.

Kontakt kola a kolejnice je uvažován jako tuhý, jednobodový. Geometrická vazba dvojkolí a koleje je pro potřeby simulace popsána charakteristikami kontaktní geometrie a vstupuje do výpočtu v podobě předpřipravených dat.

V průběhu simulace jsou výsledky ukládány do tzv. *velké výstupní fronty*, která má podobu binárního souboru \* .VVF. Po skončení simulačního výpočtu je možné výsledky simulačních výpočtů uložené v binárních souborech analyzovat s využitím *postprocessoru*. Výsledky v podobě závislosti vybraných veličin na ujeté dráze jsou pak se zadaným krokem vypsány do souborů \* .DAT. Jedná se o textové soubory s hodnotami oddělenými tabulátorem, a tudíž lze tato data snadno načíst např. s využitím běžných tabulkových procesorů za účelem prezentace v grafech a dalšího vyhodnocení. Podrobný popis procedury analýzy dat je opět uveden dále.

## 3 Manuál k programovému systému SJKV-V4N v. 1.0

Tato kapitola obsahuje základní informace týkající se obsluhy programového systému SJKV-V4N ve verzi 1.0 a jsou zde rovněž popsány základní principy funkce tohoto programového systému.

### 3.1 Umístění a spuštění programu

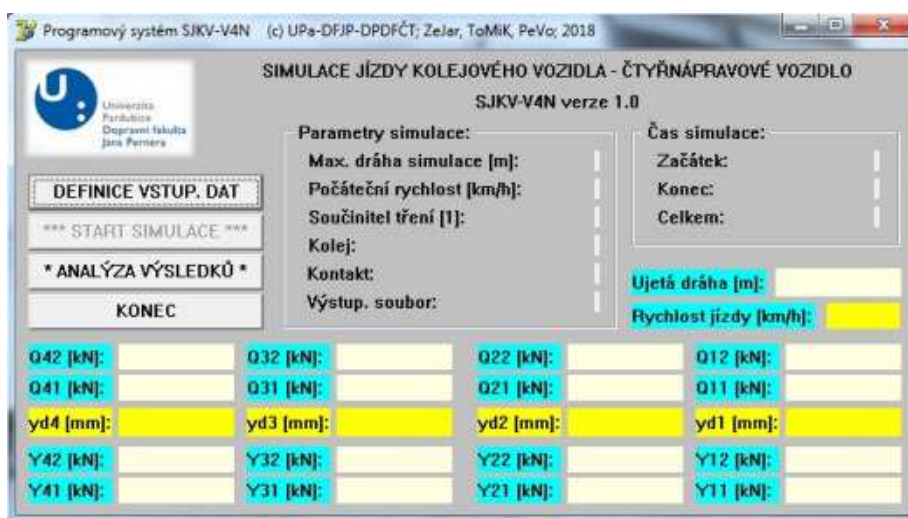
Pro spuštění programového systému **SJKV-V4N v. 1.0** není potřeba program instalovat. Spustitelný soubor **V4N.exe** se však musí nacházet v jedné složce spolu s dalšími soubory, které jsou nutné pro zajištění plné funkčnosti programu. Jde o následující soubory:

- soubory definující charakteristiky kontaktní geometrie: K\_60E120.k0x, K\_60E140.k0x;
- soubory definující trasování koleje: KOL\_prim.klj, KOL\_R300.klj, KOL\_R500.klj, KOL\_Sobl.klj;
- soubory definující nerovnosti koleje: NER\_0mm.sp1, NER\_8mm.sp1, NER\_0RE.sp1.

Složka souborů nezbytných pro zajištění plné funkčnosti programu dále standardně obsahuje:

- soubory s defaultním nastavením vstupních dat jednotlivých verzí modelu vozidla: VDS\_Lok-default.vd1, VDS\_OsV-default.vd2, VDS\_NaV-default.vd3;
- soubory pro vstup dat kontaktní geometrie dvojkolí-kolej do programu, které se generují při každém spuštění simulačního výpočtu: K\_60E120.\$x, K\_60E140.\$x.

Programový systém SJKV-V4N v. 1.0 lze spustit pomocí spustitelného souboru **V4N.exe**. Pro spuštění programu je nejprve nutné potvrdit **souhlas s licenčními podmínkami** (viz též přílohu). Následně je otevřeno **základní uživatelské rozhraní programového systému SJKV-V4N v. 1.0** (obr. 2), pomocí kterého je možné provádět další úkony (definice vstupních dat, spuštění simulace, analýza výsledků simulačních výpočtů) a kde se také zobrazuje průběh simulace v podobě aktuálních dat o ujeté dráze, rychlosti jízdy, příčné poloze dvojkolí v koleji, vodicích a svislých kolových silách a času simulace.

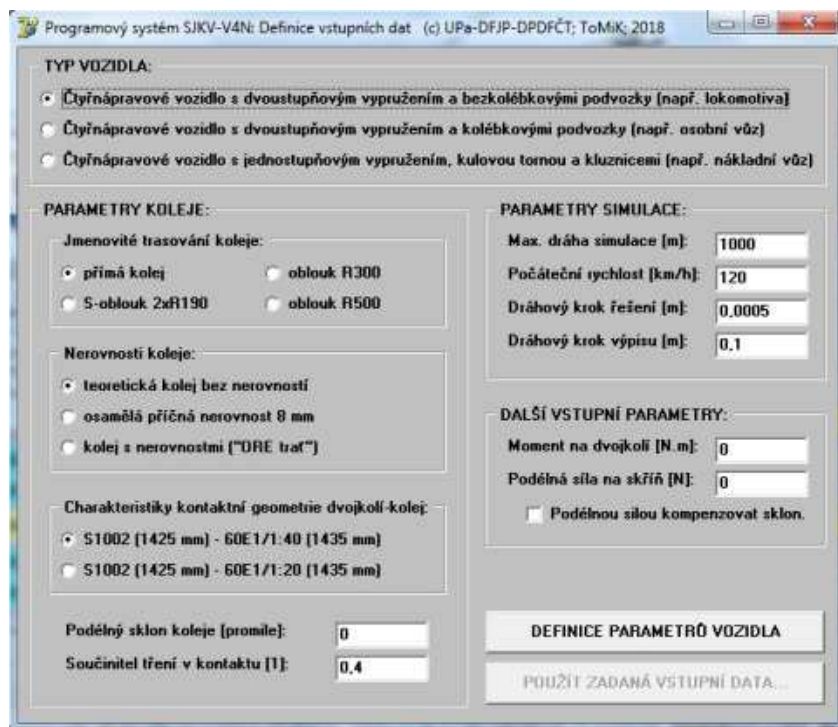


Obr. 2 Základní uživatelské rozhraní programového systému SJKV-V4N v. 1.0.



## 3.2 Definice vstupních dat

Vstupní data pro simulační výpočet je možné definovat kliknutím na tlačítko „DEFINICE VSTUP. DAT“ v základním uživatelském rozhraní programového systému SJKV-V4N v. 1.0, pomocí kterého je v samostatném okně otevřeno **rozhraní pro definici vstupních dat** (obr. 3).



Obr. 3 Rozhraní program. systému SJKV-V4N v. 1.0 pro definici vstupních dat.

S využitím tohoto rozhraní je nutné definovat:

- **typ vozidla** (viz též kap. 2), na který je dále navázána definice jeho parametrů;
- **parametry koleje**, konkrétně pak:
  - **jmenovité trasování koleje**, kde je možné volit mezi:
    - přímou kolejí;
    - pravotočivým obloukem o poloměru 300 m, jenž je trasován dle údajů v tab. 1;
    - pravotočivým obloukem o poloměru 500 m, jenž je trasován dle údajů v tab. 1;
    - S-obloukem, tedy dvěma protisměrnými oblouky o poloměru 190 m bez přechodnic a s krátkou mezipřímou délky 6 m, přičemž první oblouk je levotočivý (nacházející se na souřadnici 30 – 51 m) a druhý pravotočivý (nacházející se na souřadnici 57 – 78 m);
  - **nerovnosti koleje**, kde je možné volit mezi:
    - teoretickou kolejí bez nerovností;
    - osamělou příčnou nerovností – jde se o teoretickou kolej bez nerovností, které však předchází osamělá příčná nerovnost s amplitudou 8 mm vytvořená v délce 10 m na obou kolejnicových pásech (maximální výchylka se nachází na souřadnici odpovídající ujeté dráze 15 m) za účelem počátečního vybuzení vozidla;

- kolej s nerovnostmi (tzv. „ORE trať“) – jde o nerovnosti kolejnicových pásů ve svislém a v příčném směru, které zajišťují kinematické buzení vozidla za jízdy a které byly vygenerovány na základě spektrálních výkonových hustot nerovností koleje dle ORE; nerovnosti koleje jsou definovány v délce 2500 m;
- **charakteristiky kontaktní geometrie dvojkolí–kolej**, kde lze volit hodnotu úklonu hlav kolejnic 1:20, nebo 1:40; v obou případech však pouze pro kolej s teoretickými kolejnicemi tvaru 60E1 (UIC60) a se jmenovitým rozchodem 1435 mm v kombinaci s dvojkolím s teoretickými jízdnicími obrysy S1002 (UIC-ORE) a s rozchodem 1425 mm;
- **podélný sklon koleje** v promilích;
- **součinitel tření v kontaktu kol a kolejnic**, ovlivňující dosažitelný součinitel adheze;
- **parametry simulace**, mezi které patří:
  - **maximální dráha simulace** v metrech;
  - **počáteční rychlost jízdy** v km/h;
  - **dráhový krok numerického řešení** v metrech, který je standardně nastaven na hodnotu 0,0005 m;
  - **dráhový krok výpisu výsledků** v metrech, se kterým jsou vypisovány hodnoty aktuálního příčného posunutí jednotlivých dvojkolí a svislých a příčných sil na jednotlivých kolech v základním uživatelském rozhraní v průběhu simulačního výpočtu a se kterým jsou zaznamenávány sledované veličiny do *velké výstupní fronty*;
- **další vstupní parametry**, mezi které zde patří:
  - hodnota hnacího, resp. brzdného momentu působícího na jednotlivá dvojkolí, udávaná v N.m;
  - síla působící na skříň vozidla v jeho těžišti v podélném směru, udávaná v N, pomocí které je možné docílit (podobně jako s využitím hnacího, resp. brzdného momentu na dvojkolí) zrychlování, příp. zpomalování jízdy vozidla; pomocí zaškrťavacího pole je zde možné nastavit sílu, která bude kompenzovat odpor ze sklonu koleje.

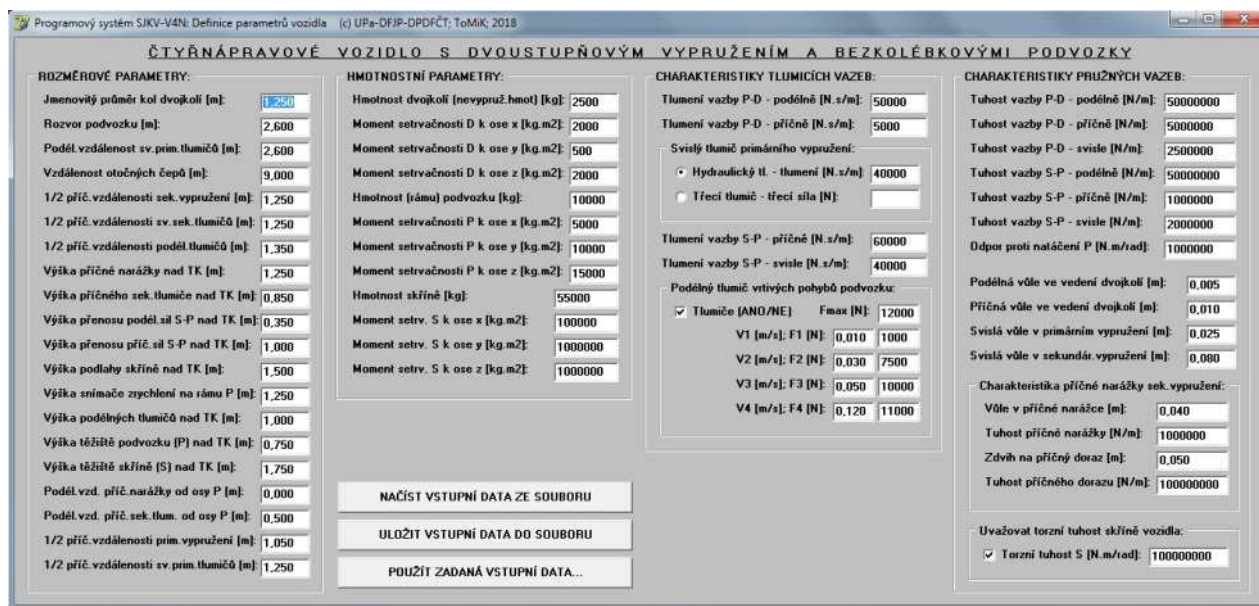
Tab. 1 Trasování oblouků o poloměrech 300 a 500 m.

Jmenovitý poloměr oblouku	300 m	500 m
Jmenovitá hodnota převýšení	150 mm	100 mm
Poloha přechodnice/vzestupnice	33 – 100 m	
Souřadnice plného oblouku	100 – 380 m	
Poloha přechodnice/sestupnice	380 – 447 m	
Tvar vzestupnice/sestupnice	lineární	
Tvar přechodnic	klotoida	

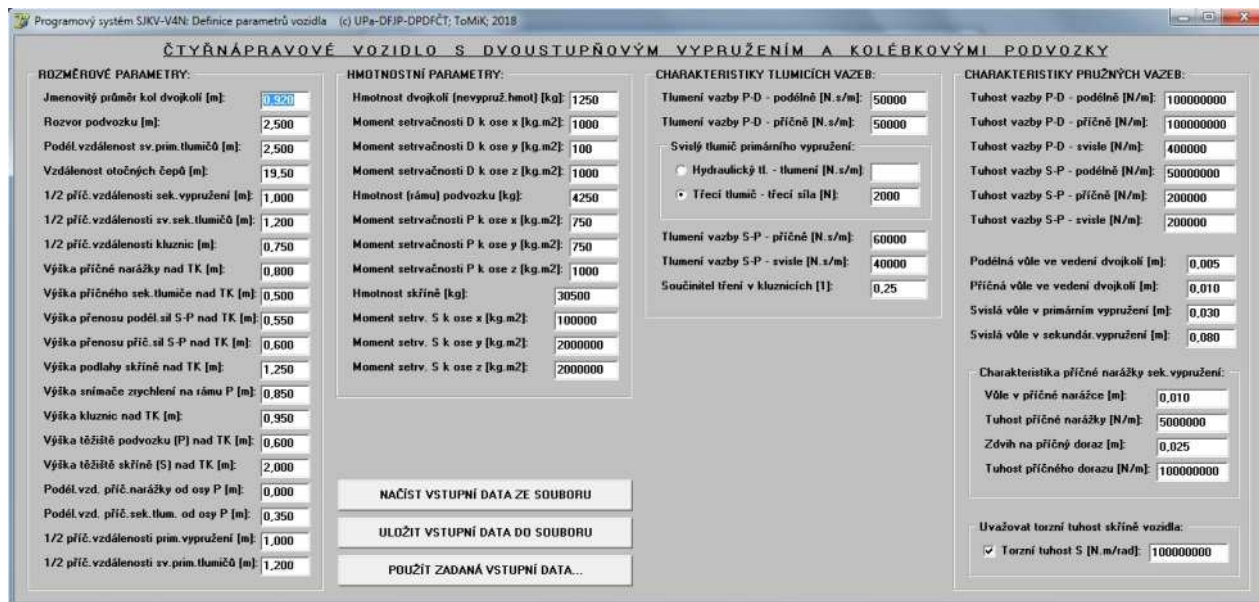
Dalším krokem v definici vstupních dat pro simulační výpočet je **definice parametrů vozidla**. Tu lze provést po kliknutí na tlačítko „DEFINICE PARAMETRŮ VOZIDLA“, kterým je otevřeno samostatné okno, jehož podoba je závislá na vybraném typu vozidla. Pro případ čtyřnápravového vozidla s dvoustupňovým vypružením a bezkolébkovými podvozky (tzn. např. pro moderní lokomotivu) je podoba tohoto okna znázorněna na obr. 4, pro čtyřnápravové vozidlo s dvoustupňovým vypružením a

kolébkovými podvozky (tzn. např. pro osobní vůz) na obr. 5 a pro čtyřnápravové vozidlo s jedno-  
 stupňovým vypružením, kulovou tornou a kluznicemi (tzn. např. pro nákladní vůz) na obr. 6. V rámci  
 definice vstupních dat jednotlivých typů vozidel je třeba vždy definovat příslušné:

- **rozměrové parametry**, definující zejména polohu jednotlivých vazeb výpočtového modelu;
- **hmotnostní parametry**, tedy hmotnosti a momenty setrvačnosti jednotlivých uvažovaných  
 těles dynamického modelu vozidla k jednotlivým osám<sup>1</sup> procházejícím těžištěm těchto těles;

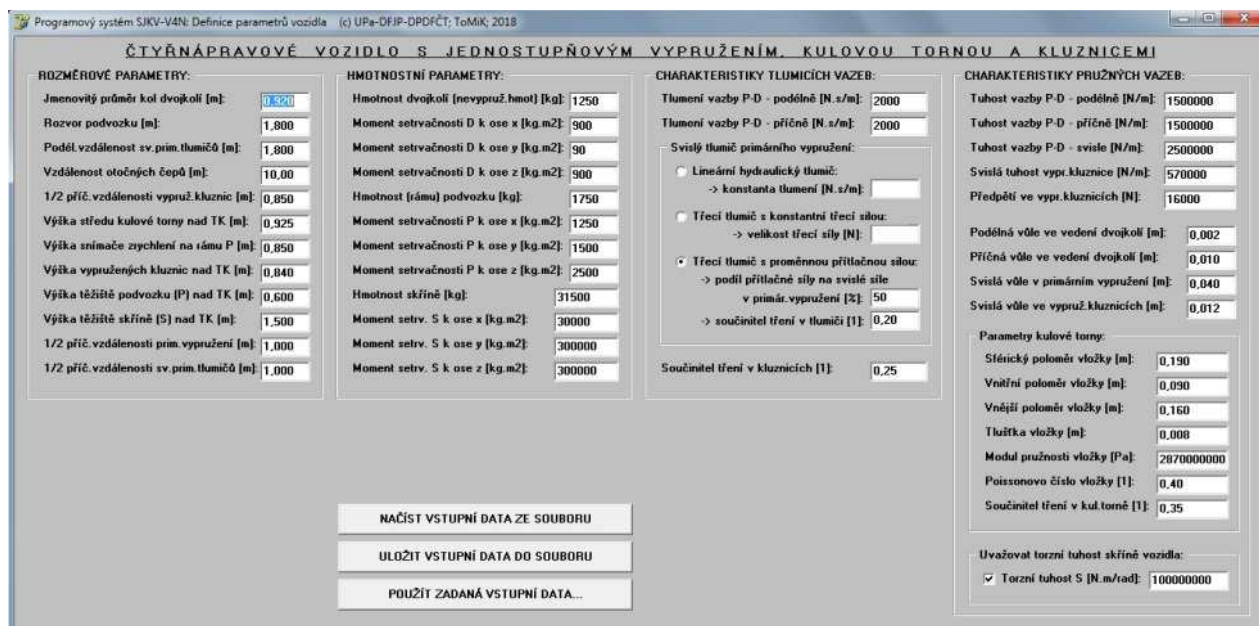


Obr. 4 Definice parametrů vozidla pro typ „čtyřnápravová moderní lokomotiva“.



Obr. 5 Definice parametrů vozidla pro typ „čtyřnápravový osobní vůz“.

<sup>1</sup> Souřadný systém je zde zaveden tak, že osa x je podélná osa (kladná poloosa směřuje ve směru jízdy), osa y je příčná  
 osa (kladná poloosa směřuje zleva doprava) a osa z svislá osa (kladná poloosa směřuje shora dolů).



Obr. 6 Definice parametrů vozidla pro typ „čtyřnápravový nákladní vůz“.

- **charakteristiky tlumičích vazeb**, definující charakteristiky použitých tlumičů mezi podvozky a dvojkolími (P-D) a mezi skříní a podvozky (S-P), příp. uvažované vnitřní tlumení ve vazbách; význam jednotlivých zadávaných hodnot je přitom následující:
  - podélným tlumením vazby podvozek–dvojkolí se rozumí konstanta tlumení lineárního viskózního tlumiče reprezentujícího útlum ve vazbě jedné ložiskové skříně a rámu podvozku v podélném směru (tzn. ve vedení dvojkolí);
  - příčným tlumením vazby podvozek–dvojkolí se rozumí konstanta tlumení lineárního viskózního tlumiče reprezentujícího útlum ve vazbě jedné ložiskové skříně a rámu podvozku v příčném směru (tzn. ve vedení dvojkolí);
  - svislý tlumič primárního vypružení je definován pro každou ložiskovou skřín a může být uvažován v následujících variantách:
    - hydraulický tlumič, který je uvažován jako symetrický lineární viskózní tlumič, definovaný příslušnou konstantou tlumení;
    - třecí tlumič s třecí silou konstantní velikosti;
    - třecí tlumič s třecí silou, jejíž velikost je definována jako součin zadané hodnoty součinitele tření a podílu svislé síly, jež aktuálně působí v primárním vypružení (tato varianta třecího tlumiče s tlumičí třecí silou závislou na svislém zatížení je dostupná pouze v modelu nákladního vozu);
  - příčným tlumením vazby skřín–podvozek se rozumí konstanta tlumení symetrického lineárního hydraulického příčného tlumiče sekundárního vypružení, který je na vozidle (lokomotiva, osobní vůz) uvažován v počtu 2 ks na podvozek, přičemž jsou tyto tlumiče situovány symetricky kolem příčné osy podvozku (v příslušné podélné vzdálenosti);
  - svislým tlumením vazby skřín–podvozek se rozumí konstanta tlumení symetrického lineárního hydraulického svislého tlumiče sekundárního vypružení, který je na vozidle (lokomotiva, osobní vůz) uvažován v počtu 2 ks na podvozek;

- podélný tlumič vrtivých pohybů podvozku (v modelu lokomotivy) je definován pomocí symetrické rychlostní charakteristiky, zadávané čtveřicí souřadnic *rychlost deformace tlumiče – síla v tlumiči*; uvažovány jsou vždy 2 ks podélných tlumičů na podvozku;
- v případě modelu osobního a nákladního vozu je tlumení vrtivých pohybů realizováno třením v postranních kluznicích; pro tyto účely se zadává příslušná hodnota součinitele tření<sup>2</sup>;
- **charakteristiky pružných vazeb**, kde je význam jednotlivých zadávaných hodnot následující:
  - tuhost vazby podvozek–dvojkolí v podélném směru odpovídá podélné tuhosti vedení jedné ložiskové skříně v rámu podvozku; tato hodnota tuhosti se uplatňuje symetricky v rámci definované podélné vůle a v případě, že příslušná deformace překročí hodnotu této vůle, uplatňuje se vysoká hodnota podélné tuhosti odpovídající tuhému dorazu;
  - tuhost vazby podvozek–dvojkolí v příčném směru odpovídá příčné tuhosti vedení jedné ložiskové skříně v rámu podvozku; tato hodnota tuhosti se uplatňuje symetricky v rámci definované příčné vůle a v případě, že příslušná deformace překročí hodnotu této vůle, uplatňuje se vysoká hodnota příčné tuhosti odpovídající tuhému dorazu;
  - tuhost vazby podvozek–dvojkolí ve svislém směru odpovídá svislé tuhosti primárního vypružení jedné ložiskové skříně; tato hodnota tuhosti se uplatňuje v rámci definované svislé vůle primárního vypružení a v případě, že příslušná deformace překročí hodnotu této vůle, uplatňuje se vysoká hodnota svislé tuhosti odpovídající svislé nárazce;
  - tuhost vazby skříň–podvozek v podélném směru odpovídá tuhosti konstrukčního uzlu pro přenos podélných sil mezi skříní vozidla (lokomotiva, osobní vůz) a podvozkem; obvykle jde o podélnou tuhost uložení otočného čepu;
  - tuhost vazby skříň–podvozek v příčném směru odpovídá celkové příčné tuhosti vazby skříně vozidla (lokomotiva, osobní vůz) a podvozku; v případě modelu lokomotivy jde obvykle o tuhost flexi-coil pružin a uložení otočného čepu v příčném směru, v případě modelu osobního vozu o příčnou tuhost zavěšení dolní kolébky v rámu podvozku;
  - tuhost vazby skříň–podvozek ve svislém směru odpovídá svislé tuhosti sekundárního vypružení na jedné straně podvozku vozidla (lokomotiva, osobní vůz);
  - v případě modelu nákladního vozu jsou ve svislém směru definovány parametry vypružených kluznic, tedy hodnota svislé tuhosti vypružení jedné kluznice, hodnota předpětí v kluznicích a velikost svislé vůle v kluznicích, při jejímž překročení se uplatňuje vysoká hodnota svislé tuhosti odpovídající svislému dorazu;
  - v případě modelu lokomotivy je definována hodnota odporu proti natáčení podvozku, reprezentující úhlovou tuhost rotační vazby skříně a podvozku při natáčení podvozku vůči skříní okolo svislé osy;
  - v případě modelu lokomotivy a osobního vozu je definována příčná nárazka sekundárního vypružení, jejíž charakteristika je definována třemi oblastmi:

---

<sup>2</sup> Zatímco v případě modelu nákladního vozu je velikost třecí síly v kluznicích odvozena od velikosti předpětí ve (vypružených) kluznicích (a zbylá část svislého zatížení se přenáší tornou), v případě modelu osobního vozu na kluznicích spočívá celá hmotnost skříně vozidla.

- je-li příslušná deformace menší než definovaná hodnota vůle v příčné narážce, nepůsobí zde žádná příčná síla;
- je-li příslušná deformace větší, avšak menší než definovaná hodnota zdvihu na příčný doraz, uplatňuje se z hlediska působící příčné síly tuhost příčné narážky;
- dojde-li k vyčerpání zadané hodnoty zdvihu na příčný doraz, uplatňuje se z hlediska působící příčné síly zadaná tuhost příčného dorazu<sup>3</sup>;
- v případě modelu nákladního vozu je ve spojení skříně a podvozku použit pokročilý model kulové torny, přičemž předdefinované hodnoty parametrů přibližně odpovídají běžným parametrům torny používané v podvozcích typu Y25;
- z hlediska modelování skříně je možné u všech typů uvažovaných vozidel definovat konečnou hodnotu torzní tuhosti skříně vozidla.

Zadané parametry vozidla lze **uložit** do souboru \*.VDx<sup>4</sup> kliknutím na tlačítko „ULOŽIT VSTUPNÍ DATA DO SOUBORU“ a zadáním požadovaného názvu souboru. Dříve uložené soubory vstupních parametrů příslušného typu vozidla je možné naopak **načíst** výběrem požadovaného souboru po kliknutí na tlačítko „NAČÍST VSTUPNÍ DATA ZE SOUBORU“.

Potvrzení zadaných, příp. načtených vstupních parametrů vozidla se provádí kliknutím na tlačítko „POUŽÍT ZADANÁ VSTUPNÍ DATA...“ Tím zároveň dojde k zavření okna s definicí vstupních parametrů vozidla (k návratu do okna rozhraní pro definici vstupních dat) a k aktivaci tlačítka „POUŽÍT ZADANÁ VSTUPNÍ DATA...“ v okně rozhraní pro definici vstupních dat. Stisknutím tohoto tlačítka pak dojde k **načtení vstupních dat simulačního výpočtu včetně parametrů vybraného typu vozidla**, k zavření okna tohoto rozhraní (k návratu do základního uživatelského rozhraní programového systému SJKV-V4N v. 1.0) a k aktivaci tlačítka „\*\*\* START SIMULACE \*\*\*“, umožňujícího následné spuštění simulačního výpočtu. Zároveň se do oblasti „Parametry simulace“ v základním uživatelském rozhraní programu zapíše základní zadané parametry simulačního výpočtu.

### 3.3 Simulační výpočet

Spuštění simulačního výpočtu lze provést po zadání vstupních dat stiskem tlačítka „\*\*\* START SIMULACE \*\*\*“. Po stisknutí tohoto tlačítka je uživatel nejprve vyzván **k zadání názvu výstupního souboru** (včetně umístění tohoto souboru), po jehož zadání se spustí samotná simulace. Průběh simulačního výpočtu je možné sledovat v okně základního uživatelského rozhraní programového systému SJKV-V4N v. 1.0 (obr. 2), v němž se se zadaným dráhovým krokem výpisu zobrazují hodnoty vodících a svislých kolových sil a příčného posunutí jednotlivých dvojkolí ve volném kanálu koleje a také ujetá dráha simulace a aktuální rychlost jízdy modelu vozidla.

---

<sup>3</sup> Z hlediska umístění příčné narážky představuje kladná hodnota podélné vzdálenosti příčné narážky od osy podvozku umístění směrem ke středu vozidla.

<sup>4</sup> V případě „moderní lokomotivy“ jde o soubory s příponou \*.VD1, v případě „osobního vozu“ o soubory s příponou \*.VD2 a v případě „nákladního vozu“ o soubory s příponou \*.VD3.

Výsledky simulačního výpočtu jsou během simulace průběžně ukládány se zadaným krokem výpisu do binárního souboru *velké výstupní fronty* (\* .VVF). Kromě toho dojde na počátku simulace (ve stejném adresáři, do kterého je ukládán soubor \* .VVF) k vytvoření binárního souboru \* .VFD, jenž obsahuje zejména základní parametry simulačního výpočtu. Skončení simulačního výpočtu standardním způsobem, tj. dosažením zadané ujeté dráhy simulace, je potvrzeno dialogovým oknem obsahujícím hlášku: „*Simulace byla úspěšně dokončena; výsledky jsou zkomprimovány v souboru:*“, spolu s adresou odkazující na umístění a název souboru *velké výstupní fronty*. Výsledky simulačního výpočtu, uložené v souboru \* .VVF, lze následně analyzovat stisknutím tlačítka „\* ANALÝZA VÝSLEDKŮ \*“ v základním uživatelském rozhraní. Stisknutím tlačítka „KONEC“ potom dojde k ukončení programu a k zavření základního uživatelského rozhraní.

#### **Upozornění:**

***Programový systém SJKV-V4N v. 1.0 nedokáže odhalit nesmyslná vstupní data, takže při jejich zadání může dojít buď k havárii simulačního výpočtu, nebo k získání nesmyslných výsledků. Rovněž použité algoritmy nezaručují správnou funkci za všech možných podmínek definovaných hodnotami zadaných parametrů (to se týká např. délky integračního kroku výpočtu a použitých modelů tření v příslušných silových vazbách). Autoři programového systému proto negarantují správnost výsledků získaných s využitím programového systému SJKV-V4N v. 1.0 a s ohledem na určení tohoto softwaru výhradně pro nekomerční použití neposkytují uživatelskou podporu.***

### **3.4 Analýza výsledků simulačních výpočtů**

Analýzu výsledků dříve provedených simulačních výpočtů lze provést stiskem tlačítka „\* ANALÝZA VÝSLEDKŮ \*“ v základním uživatelském rozhraní programového systému SJKV-V4N v. 1.0. Po stisku tlačítka je uživatel vyzván k výběru požadovaného souboru *velké výstupní fronty* (\* .VVF), který má být analyzován, a to včetně výběru cesty k tomuto souboru. Nutnou podmínkou pro úspěšnou analýzu výsledků je **přítomnost odpovídajícího souboru \* .VFD** (který je vytvořen v průběhu simulace a který nese stejný název jako analyzovaný soubor \* .VVF) **ve stejném adresáři**, v němž se nachází příslušný soubor *velké výstupní fronty*.

Zadáním a potvrzením názvu analyzovaného souboru *velké výstupní fronty* dojde k **vytvoření nové složky výsledků v zadaném adresáři**, přičemž tato složka nese stejný název jako analyzovaný soubor výsledků (\* .VVF, resp. \* .VFD). **Pokud již složka s odpovídajícím názvem v příslušné adresářové struktuře existuje, dojde automaticky k jejímu smazání a znovuvytvoření!**

Vytvořená složka výsledků obsahuje jednotlivé **ASCII soubory** (s příponou \* .DAT), s jejichž využitím je možné vykreslit průběh jednotlivých sledovaných veličin. S výjimkou „nultého“ souboru (viz dále) jde o soubory, které obsahují sloupce dat (oddělené tabulátorem), přičemž v prvním řádku je uveden popis veličin v jednotlivých sloupcích a první sloupec vždy obsahuje výpis ujeté dráhy prvního dvojkolového vozidla s krokem odpovídajícím zadanému kroku výpisu. Struktura adresáře výsledků je jednotná pro všechny varianty modelu vyšetřovaného vozidla a konkrétně obsahuje následující soubory:

- **00\_VDS.txt** – textový soubor obsahující **shrnutí parametrů simulačního výpočtu a použitých hodnot parametrů vyšetřovaného vozidla**;
- **01\_Nero.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh příčných** ( $dy_{k1}(p)$  a  $dy_{k2}(l)$ ) **a svislých** ( $dz_{k1}(p)$  a  $dz_{k2}(l)$ ) **odchylek pravé a levé kolejnice od teoretické polohy dané jmenovitým trasováním koleje**;
- **02\_Yd.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh příčné výchylky jednotlivých dvojkolí vozidla** ( $y_{d1}$  až  $y_{d4}$ ) z centrované polohy ve volném kanálu koleje;
- **03\_UNd.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh úhlu náběhu jednotlivých dvojkolí vozidla** ( $dzeta_{d1}$  až  $dzeta_{d4}$ );
- **04\_Vosi.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh vodících sil působících na jednotlivých kolech vozidla** ( $Y_{11}$  až  $Y_{42}$ );
- **05\_Kosi.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh svislých kolových sil působících na jednotlivých kolech vozidla** ( $Q_{11}$  až  $Q_{42}$ );
- **06\_Tesi.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh tečných (skluzových) sil působících na jednotlivých kolech vozidla v podélném směru** ( $T_{x11}$  až  $T_{x42}$ );
- **07\_YkuQ.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze prvního dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh dosahované hodnoty poměru vodící a svislé kolové síly na jednotlivých kolech vozidla** ( $(Y/Q)_{11}$  až  $(Y/Q)_{42}$ );
- **08\_Mi.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh dosahovaných hodnot součinitele adheze na jednotlivých kolech vozidla** ( $Mi_{11}$  až  $Mi_{42}$ );
- **09\_Ptr.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh dosahovaných hodnot třecího výkonu v kontaktu jednotlivých kol vozidla a kolejnic** ( $P_{tr11}$  až  $P_{tr42}$ )<sup>5</sup>;
- **10\_WN.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh dosahovaných hodnot čísla opotřebení („Wear Number“) v kontaktu jednotlivých kol vozidla a kolejnic** ( $WN_{11}$  až  $WN_{42}$ );
- **11\_SumaY.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh sumy vodících sil na jednotlivých dvojkolích vozidla** ( $SY_{11}$  až  $SY_{42}$ );
- **12\_Hsily.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh rámových sil působících na jednotlivých dvojkolích vozidla** ( $H_{11}$  až  $H_{42}$ );
- **13\_And.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh nevyrovnaného zrychlení na jednotlivých dvojkolích vozidla** ( $An_{d1}$  až  $An_{d4}$ );
- **14\_ZryLSy.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh příčného zrychlení na jednotlivých ložiskových skříních** ( $y_{..11}$  až  $y_{..42}$ );

---

<sup>5</sup> Použitá definice třecího výkonu v kontaktu kolo–kolejnice, kterou je možné využít jako měřítko pro hodnocení opotřebení kol a kolejnic v obloucích, je uvedena např. v článku [3].



- **15\_ZryLSz.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh svislého zrychlení na jednotlivých ložiskových skříních** ( $z \dots_{11}$  až  $z \dots_{42}$ );
- **16\_ZryPy.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh příčného zrychlení snímaného na rámu podvozku nad jednotlivými ložiskovými skříněmi** ( $y \dots_{+11}$  až  $y \dots_{+42}$ );
- **17\_ZryPz.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh svislého zrychlení snímaného na rámu podvozku nad jednotlivými ložiskovými skříněmi** ( $z \dots_{+11}$  až  $z \dots_{+42}$ );
- **18\_ZryS.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh příčného a svislého zrychlení snímaného na skříní vozidla**, a to v úrovni výšky podlahy nad TK a zároveň nad otočným čepem (středem) předního podvozku ( $y \dots *I$ ,  $z \dots *I$ ), ve středu (resp. v úrovni těžiště) skříně ( $y \dots *$ ,  $z \dots *$ ) a nad otočným čepem (středem) zadního podvozku ( $y \dots *II$ ,  $z \dots *II$ );
- **19\_Rychl.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh rychlosti jízdy vozidla** ( $V$ );
- **20\_NatocP.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh natočení jednotlivých podvozků vůči skříní** ( $\beta_{I}$ ,  $\beta_{II}$ ) **a momentu působícího na jednotlivých podvozcích proti natočení skříně** ( $M_{zI}$ ,  $M_{zII}$ );
- **21\_DefPDx.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh podélné deformace vazby podvozek–dvojkolí (vedení dvojkolí) u jednotlivých ložiskových skříní** ( $Def\_pdx_{11}$  až  $Def\_pdx_{42}$ );
- **22\_DefPDy.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh příčné deformace vazby podvozek–dvojkolí (vedení dvojkolí) u jednotlivých ložiskových skříní** ( $Def\_pdy_{11}$  až  $Def\_pdy_{42}$ );
- **23\_DefPDz.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh svislé deformace vazby podvozek–dvojkolí (primární vypružení) u jednotlivých ložiskových skříní** ( $Def\_pdz_{11}$  až  $Def\_pdz_{42}$ );
- **24\_DefSPx.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh podélné deformace vazby skříně–podvozek v místě otočného čepu, resp. kulové torny** ( $Def\_spxI$ ,  $Def\_spxII$ );
- **25\_DefSPy.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh příčné deformace vazby skříně–podvozek v místě otočného čepu, resp. kulové torny** ( $Def\_spyI$ ,  $Def\_spyII$ );
- **26\_DefSPn.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh příčného pohybu skříně vůči podvozku v místě příčné narážky jednotlivých podvozků** ( $Def\_spnI$ ,  $Def\_spnII$ );
- **27\_DefSPz.dat** – datový soubor obsahující v závislosti na ujeté dráze 1. dvojkolí ( $x_{d1}$ ) **průběh svislé deformace vazby skříně–podvozek v místech sekundárního vypružení, resp. vypružených kluznic** ( $Def\_spzI1$  až  $Def\_spzII2$ ).

## Literatura

- [1] POLÁCH, O.: *A fast wheel-rail forces calculation computer code*. In *Proceedings of the 16<sup>th</sup> IAVSD Symposium, Vehicle System Dynamics Supplement 33* (1999), s. 728–739. Boca Raton: Taylor & Francis, 1999. ISSN 0042-31114.
- [2] MICHÁLEK, T., ZELENKA, J.: *Reduction of lateral forces between the railway vehicle and the track in small-radius curves by means of active elements*. In: *Applied and Computational Mechanics* Vol. 5 No. 2 (2011), s. 187–196. Plzeň: University of West Bohemia, 2011. ISSN 1802-680X.
- [3] MICHÁLEK, T., HAUPT, L., ZELENKA, J., KOHOUT, M., LIBEROVÁ, S.: *Lateral force effects of three-axle locomotive bogie on track*. In *Applied and Computational Mechanics* Vol. 12 No. 1 (2018), s. 33–44. Plzeň: University of West Bohemia, 2018. ISSN 1802-680X.

# Příloha: Licenční podmínky pro užití programového systému SJKV-V4N verze 1.0

## I. Úvodní ustanovení

1. Počítačový program SJKV-V4N verze 1.0 (dále jen "software") Univerzity Pardubice (dále jen "poskytovatel") je chráněn autorským zákonem.
2. Software je výsledkem výzkumu na Dopravní fakultě Jana Pernera jako plánovaný výstup projektu Technologické agentury České republiky ev. č. TE01020038 „Centrum kompetence drážních vozidel“ v roce 2018.
3. Tyto licenční podmínky stanoví, za jakých podmínek může uživatel software užívat.

## II. Uživatel

1. Uživatelem softwaru může být student nebo zaměstnanec vysoké školy v České republice. Software je dostupný po přihlášení prostřednictvím intranetu poskytovatele na univerzitních i soukromých zařízeních.
2. V případě, že zájemce nemá přístup do intranetu poskytovatele, kontaktuje správce software na e-mailu tomas.michalek@upce.cz, který mu v případě splnění podmínek umožní přístup k software a jeho užívání.

## III. Práva a povinnosti uživatele

1. Uživatel je oprávněn užívat software v souladu s těmito licenčními podmínkami a právními předpisy bezúplatně.
2. Uživatel není oprávněn užívat software k jakýmkoliv komerčním účelům.
3. Uživatel není oprávněn software pronajímat, půjčovat nebo jiným způsobem umožnit třetím osobám jeho využití, provádět změny v software, upravovat ho nebo z něj odstranit informaci o autorských právech poskytovatele.
4. Software je poskytován tak, jak je. Uživatel nemá právo na poskytnutí technické nebo uživatelské podpory.

## IV. Práva a povinnosti poskytovatele

1. Poskytovatel neodpovídá za to, že software odpovídá svojí jakostí a provedením účelům, jež jsou uvedeny v dokumentaci, která je součástí dodávky software.
2. Poskytovatel neodpovídá za poškození, ztrátu nebo zničení dat, software a hardware způsobené nesprávným užitím nebo nedbalostí uživatele.

3. Zjistí-li poskytovatel vadu software, která může způsobit poškození nebo zničení dat, software nebo hardware nebo může chybnou interpretací dat uvést uživatele v omyl, poskytne takovou informaci na svých webových stránkách. Pokud tak ale neučiní, nenese odpovědnost za škody, které uživateli v důsledku takové vady vznikly.
4. Poskytovatel nepřijímá odpovědnost za vady propojení software s počítačovými programy jiných poskytovatelů způsobené nesouladem verzí a nesprávnou konfigurací.
5. Poskytovatel nenese odpovědnost za správnost výpočtů prováděných software.
6. Poskytovatel je oprávněn po dohodě s uživatelem využívat vzdálené připojení pro instalaci a řešení nestandardních situací.

## **V. Doba trvání licence, porušení licenčních podmínek**

1. Licence k software je uživateli poskytována na dobu neurčitou, není-li smluvně domluveno jinak.
2. Instalací aktuální verze software jsou původní licenční podmínky nahrazeny aktuálně platnými licenčními podmínkami poskytovatele.
3. Poskytovatel je oprávněn odstoupit od licenční smlouvy v případě, že uživatel:
  - a) neoprávněně pořídí rozmnoženinu software v jakékoli formě, trvalou nebo dočasnou,
  - b) provede neoprávněný překlad, zpracování, úpravu či jinou změnu software,
  - c) umožní užití software další osobě, včetně pronájmu a půjčování,
  - d) neoprávněně využije jakoukoli znalost o myšlenkách a postupech, struktuře, algoritmu nebo použitých metodách, na nichž je software založen nebo které obsahuje, nebo je sdělí jiné osobě,
  - e) poruší ustanovení autorského zákona jiným způsobem.
4. V případě zániku smluvního vztahu nevznikají uživateli žádné nároky související s ukončením smluvního vztahu a nemožností nadále užívat software.

## **VI. Závěrečná ustanovení**

1. Licenční podmínky se řídí autorským zákonem a občanským zákoníkem.
2. Licenční podmínky platí přiměřeně i pro dokumentaci k software.