

## SIMULÁCIA PRACOVNÉHO CYKLU MOBILNÉHO PRACOVNÉHO STROJA

Pavol Slovák<sup>1</sup>, Ladislav Gulan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>STU SjF Bratislava, pavol.slovak@stuba.sk

<sup>2</sup>STU SjF Bratislava, ladislav.gulan@stuba.sk

### *SIMULATION OF WORK CYCLE OF MOBILE WORKING MACHINE*

**Abstract:** *The paper deals with simulation of real working cycle of mobile working machine. This is a time-dependent simulation with the possibility of creating borderline situations such as sudden speed changes. This simulation and the data obtained from it are the basis for dimensioning the individual parts.*

**Key words:** *kinematic constraint, velocity, acceleration, execution command, inertia force*

### ÚVOD

Simulácia je moderná experimentálna metóda, podstatou ktorej je nahradenie reálnej súčiastky alebo mechanizmu počítačovým modelom. Na základe analýzy výstupov simulácie možno optimalizovať model do takej miery, ktorá vyhovuje účelu budúceho produktu. Ako progresívna metóda skúmania umožňuje projektantom experimentovať s digitálnym modelom (budúci reálny produkt), prv než bude realizovaná výroba, prípadne odhaľovať pripravenosť výrobkov na zaťažovanie v prevádzke. Simulovanie vo virtuálnej realite konštruktérovi umožňuje minimalizovať počet technických skúšok, šetrí čas a znižuje náklady.

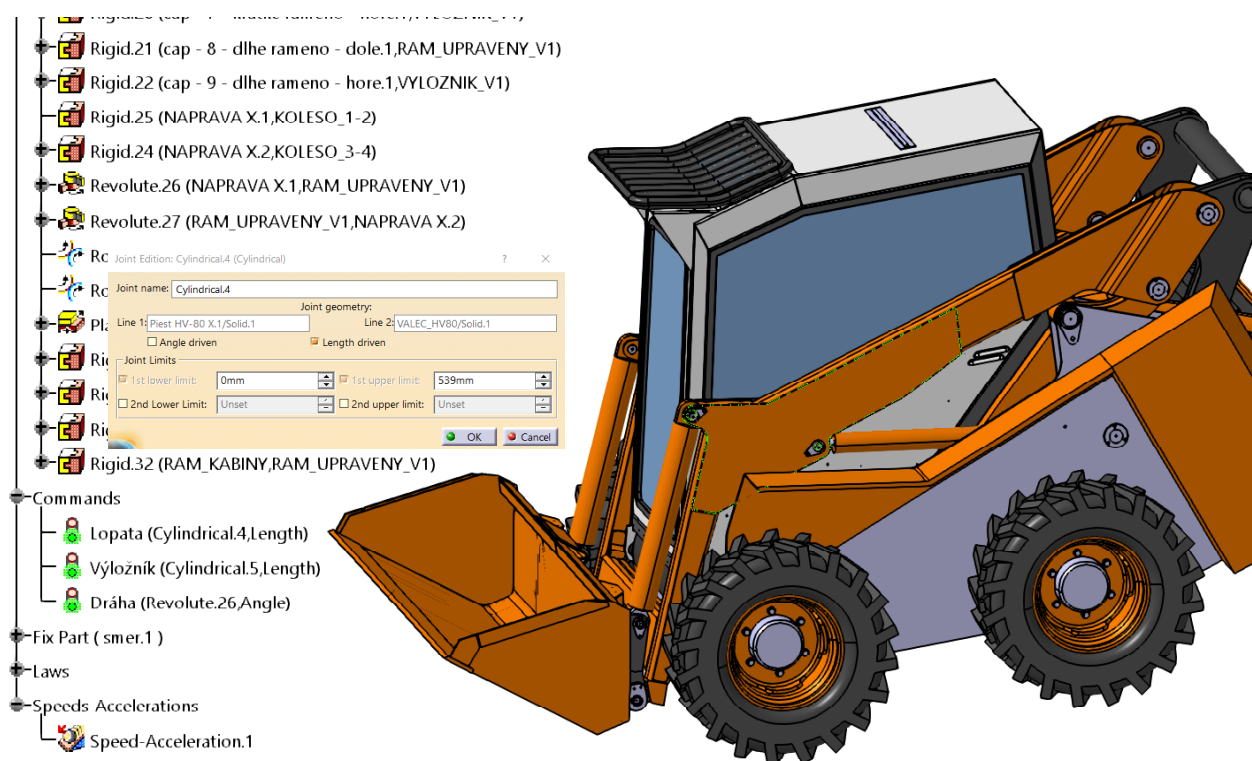
### VLASTNÝ TEXT

V komplexných CAD/CAM systémoch sú integrované špeciálne druhy simulačných procesov, menovite ide o: 3D simuláciu pohybov - 3D simulácia NC obrábania, 3D simulácia obsluhy, simuláciu MKP (FEM - finite element method) – napäťové a deformačné analýzy, kontrola vibrácií, analýzy teplotných polí, simuláciu kinematických väzieb mechanizmov, simuláciu servo mechanizmov, simulácia montáže atď. V tomto článku bude realizovaná simulácia pracovného cyklu nakladača UNC Locust 953. Pracovný cyklus čelného nakladača pozostáva z pojazdu, naberania bremena na lopatu, dvíhania bremena a vysýpania. Pre potreby simulovania pracovného cyklu bolo potrebné vytvoriť digitálny model. Na kinematizovanie modelovej zostavy boli využité funkcie modulu DMU Kinematics. Na to aby bolo možné vytvorenie zostavy rozpohybovať, bolo potrebné definovať nový mechanizmus, ten určuje počet stupňov voľnosti pohybu. Model mechanizmu má v priestore 6 stupňov voľnosti, sú to 3 nezávislé posuvné pohyby jeho ťažiska pozdĺž osí x, y, z trojrozmerného súradného systému a 3 možné natočenia (rotačné pohyby) okolo týchto osí. Pre zabezpečenie schopnosti pohybu častí modelu, musí model mať minimálne 1 stupeň. Na definovanie počtu stupňov voľnosti v CATII slúži panel nástrojov Kinematic Joints obr.1, ktorý poskytuje paletu kinematických väzieb.



Obr.1 Kinematické väzby

Aby bolo možné mechanizmus simulovať je potrebné odstrániť všetky stupne voľnosti okrem definovaných pohybov, takže systém indikuje nula stupňov voľnosti (Degrees of freedom, DOF=0). Pohyblivosť jednotlivých častí je zabezpečená definovaním Command (riadiaciho príkazu), ktorý vznikne aktivovaním kinematickej väzby. Na obr.2 je znázornená tvorba príkazu. Po rozkliknutí zadaného kinematickej väzby je možné nastaviť rozsah riadeného pohybu odkliknutím políčka Length driven alebo Angle driven, to znamená, že zadaním rozsahu bude riadená dĺžka vysunutia piestu z valca alebo rotácia valca okolo čapu. V závislosti od vstupných parametrov rozsahu pohybu je používateľ schopný riadiť aj zvyšné stupne voľnosti mechanizmu, konkrétne v tomto prípade obrázok dokumentuje posúvanie piestu vo valci hydromotora HV 80

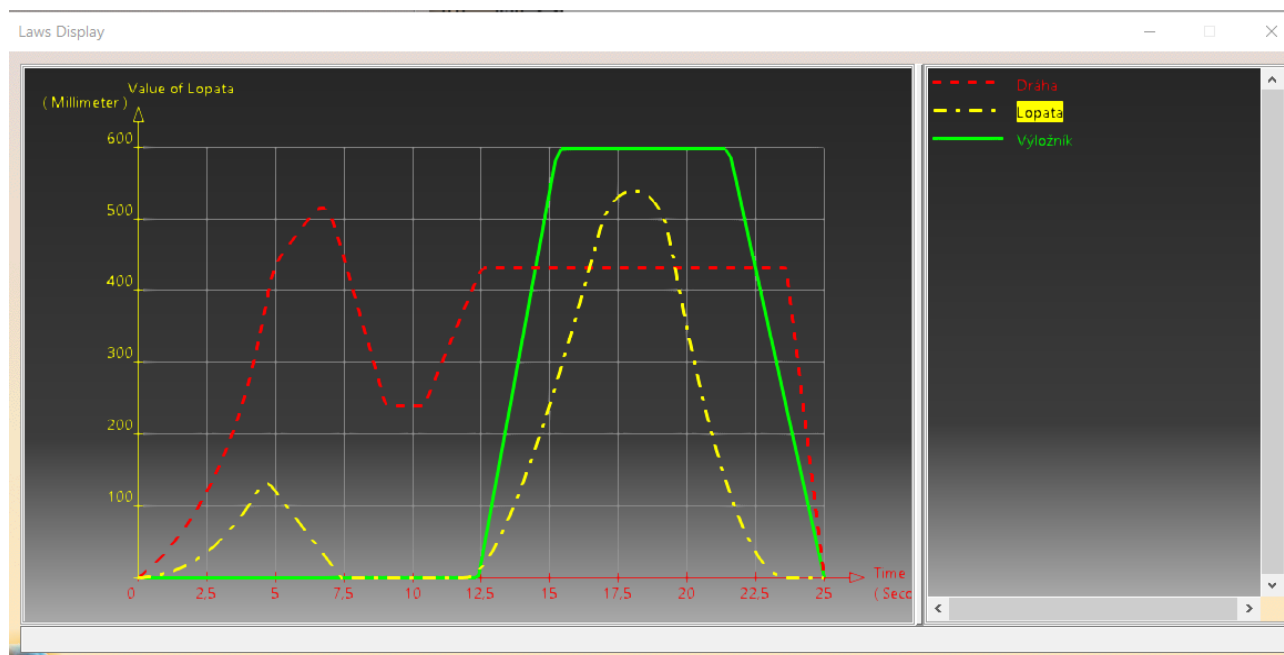


Obr.2 Zápis riadiacich príkazov pre spustenie kinematiky

S prihliadnutím na to, že úlohou je simulovanie pracovného cyklu nakladača riadeného preklzom kolies, definované sú 3 riadené pohyby. Ide o preklápanie lopaty nakladača ovládanej činnosťou hydromotora HV 80, zdvih výložníka ovládaným hydromotorom HV 63, a odvaľovanie kolies po zadanom dráhe pohybu

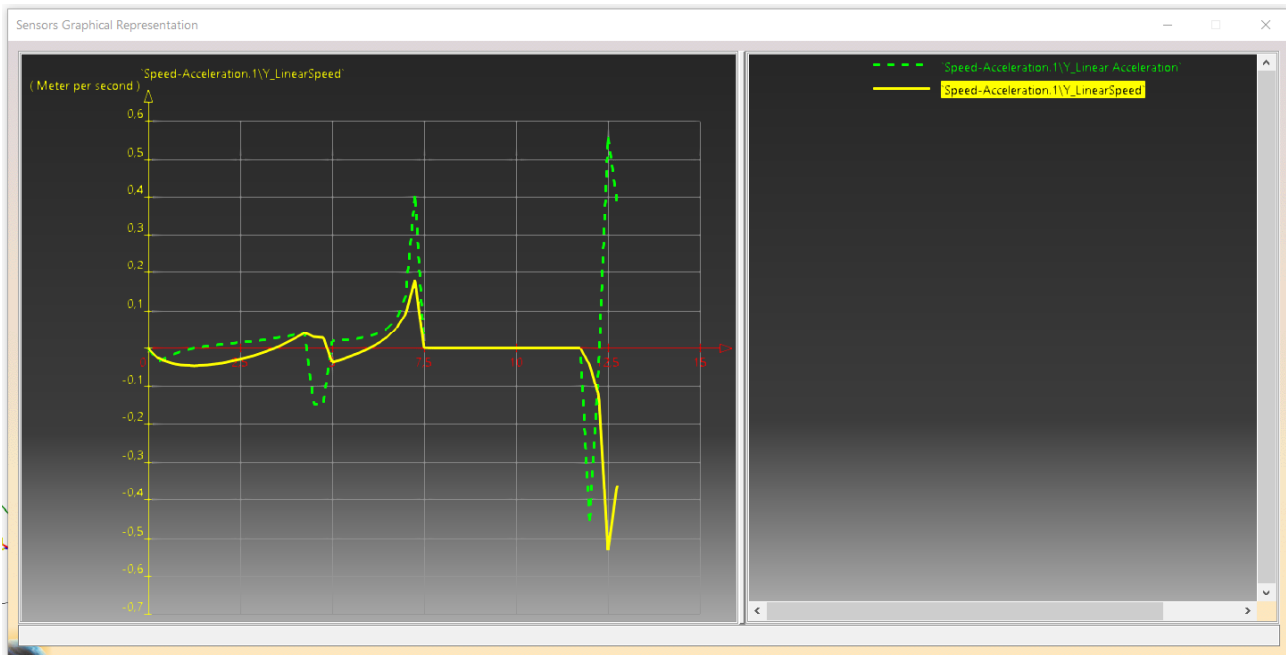
Keďže bol vytvorený teoretický fungujúci model a ukončená prípravná fáza simulácie, nasledoval proces samotnej simulácie. Popri klasickej simulácii využívajúcej princíp Commandov sa pohyb realizuje len na základe číselnej hodnoty (zvyčajne dĺžka a uhol) príslušného commandu, CATIA V5 umožňuje aj programovanie pohybov mechanizmu v reálnom čase, tak ako po sebe nasledujú, prostredníctvom funkcie Simulation with Laws, pričom sa ku konkrétnym Commandom priradujú číselné hodnoty v závislosti na čase, resp. každý Command je určený grafom závislosti riadeného

pohybu (zdvih, rotácia) od času. Určujúce krivky závislosti boli na účely simulácie navrhnuté tak, aby verne reprezentovali priebeh jednotlivých pohybov a vo výslednej fáze tak znázornili teoretický pracovný cyklus stroja - mechanizmu. Krivky boli vytvorené vo zvláštnom CATParte, tak aby jeden dokument obsahoval všetky kinematické dáta. Sketcher (prostredie v ktorom sa konkrétne priebehy vytvoria) obsahujúci dané určujúce krivky bol následne nalinkovaný - pripojený ku konkrétnym Commandom, tak aby bola vytvorená požadovaná kinematická interakcia jednotlivých pohyblivých častí v reálnom čase obr.3.



**Obr.3** Priebeh Commandov

Takto vytvorená simulácia umožňuje zosynchronizovať pohyby jednotlivých častí mechanizmu, čo v konečnom dôsledku vytvára reálny cyklus. Časovú os je možné kedykoľvek prepísať na požadovanú hodnotu v ľubovoľných jednotkách (s, min, hod., deň, ...). Zvislú os, kde sa zadávajú konkrétne hodnoty commandov je možné násobiť mierkou podľa potreby. Výhoda tohto druhu simulácie je v tom, že vieme v akomkoľvek čase zistiť rýchlosť a zrýchlenie (lineárne alebo uhlové) ktorejkoľvek pohybujúcej sa časti v zhladom na ľubovoľnú časť, či už stojacu alebo pohybujúcu obr.4. Tým pádom vieme nasimulovať kritické stavy ako sú napr. prudký rozbeh alebo náraz do tuhej prekážky a iné. Vieme pre tieto stavy odčítať zrýchlenie, resp. spomalenie a vynásobením hmotnosťou konkrétnej časti vieme zistiť silu, ktorá pôsobí v danom mieste a použiť ju pri dimenzovaní.



**Obr.4** Rýchlosť a zrýchlenie lopaty vzhľadom na rám stroja počas časti pracovného cyklu

## ZÁVER

Kinematika mechanizmu, ktorá je nosnou témou článku umožňuje okrem základných výstupov ako je pohyb, trajektória, kolízia, meranie vzdialeností atď. poskytnúť simuláciu reálneho pracovného cyklu, hraničných stavov (náhle zrýchlenie alebo náraz) i časovo závislé veličiny (rýchlosť, zrýchlenie), ktorých hodnoty môžu byť zobrazené formou grafu alebo tabuľky.

## LITERATÚRA

- [1] SLOVÁK, Pavol. *Využitie CAD systému v konštrukčných riešeniach*. XLIV. Konferencia katedier častí strojov, Zvolen 2003
- [2] SLOVÁK, Pavol. *Využitie špičkových CADAM systémov pre urýchlenie procesu vývoja a realizácie stavebného stroja*. XXVI. Medzinárodný seminár katedier dopravy a manipulácie. Gabčíkovo, 2000
- [3] GULAN, Ladislav - MAZURKIEVIČ, Izidor. *Mobilné pracovné stroje : Teória a metódy projektovania*. 1. vyd. Bratislava : STU v Bratislave, 2009. 180 s. ISBN 978-80-227-3026-6
- [4] GULAN, Ladislav. *Konštrukcia a základné znaky mobilných pracovných strojov - nakladačov*. In *Stavebné materiály*. Roč.4, č.5 (2008), s.34-36. ISSN 1336-7617
- [5] [https://www.3ds.com/products-services/catia/products/v5/portfolio/domain/Product\\_Synthesis/](https://www.3ds.com/products-services/catia/products/v5/portfolio/domain/Product_Synthesis/)

### **Pod'akovanie**

*Tento príspevok vznikol za podpory Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-15-0524 a Zmluvy č. APVV-17-0309.*