



UTILIZATION OF MULTIBODY SIMULATIONS IN CREATION OF THE CONSTRUCTION DESIGN OF THE LOW-LEVEL DECK ARTICULATED ŠKODA 22 AB BUS

Pavel POLACH*

*Summary: The paper deals with the application of computer simulations in investigating riding qualities and the time histories of dynamic forces acting on structural parts of the low-level deck articulated ŠKODA 22 Ab bus. The time histories of loading are assessed in simulations with the multibody bus model which was created in the **alaska** programme. Following simulations with the multibody model of the construction design of the ŠKODA 22 Ab bus are possible to be carried out:*

- 1. Simulations of driving operations (braking, "slalom", overtaking, driving into a curve and acceleration in a curve) - results inform about riding qualities of the bus,*
- 2. Simulation of a drive over an artificial obstacle - outputs of time histories of forces at suspension elements are input data for the calculation of the bodywork stresses by means of FEM, time histories of relative deflections of air springs and relative velocities at shock absorbers inform about the suitability of the used suspension elements,*
- 3. Simulation of a slow front impact against a concrete wall - outputs serve as input data for the evaluation of deformation of a vehicle supporting framework by the FEM programmes,*
- 4. Simulation of a drive along a rough road surface - results are possible to be used in the field of fatigue life assessment of dynamically loaded structures.*

1. Úvod

Softwarové prostředky počítačové mechaniky určené pro vyšetřování kinematických a dynamických vlastností soustav mnoha těles jsou stále rozšířenějším nástrojem pro řešení konkrétních problémů technické praxe. Využití MBS simulací má nezastupitelný význam zejména pokud není možné provést experimentální měření na reálné soustavě. Typickým příkladem je vyšetřování a zdokonalování vlastností díla ještě ve stádiu konstrukčního návrhu, což je i případ nízkopodlažního kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab. Multibody model konstrukčního návrhu nízkopodlažního kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab je vytvořen v programu **alaska** (advanced **l**agrangian solver in kinetic analysis) [9].

Program **alaska** patří do skupiny programů označovaných MBS (*multibody systems*), jako jsou např. známější ADAMS a SIMPACK. Byl vyvinut v *Institutu für Mechatronik*, Chemnitz, SRN.

Program **alaska** je určen pro vyšetřování kinematických veličin a dynamického chování prostorových mechanických systémů tvořených soustavou těles. Kromě tuhých těles je možné použít i speciální prvek, tzv. "superelement", který aproximuje dynamické chování pružného nosníku. Program obsahuje moduly, které umožňují modelovat pneumatiku (*Tire Modul*) a kontakt kolo - kolejnice (*Wheel-Rail Modul*). Při simulacích pohybu s multibody modely jsou programem **alaska** sestavovány Lagrangeovou metodou nelineární pohybové rovnice, které jsou řešeny přímou numerickou integrací

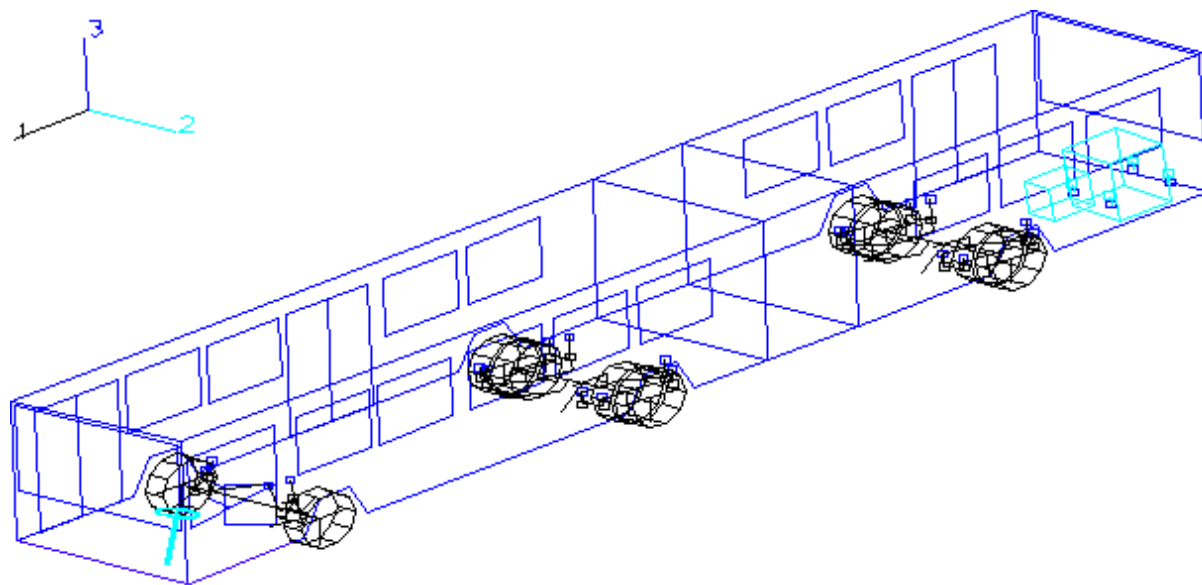
* Dr. Ing. Pavel Polach, ŠKODA VÝZKUM s.r.o., Tylova 57, 316 00 Plzeň, ppolach@vyz.ln.skoda.cz

(výsledky uvedené v tomto příspěvku byly získány při použití Shampinova-Gordonova integračního algoritmu – v [9] odkaz na [10]).

2. MULTIBODY MODEL KLOBOVÉHO AUTOBUSU ŠKODA 22 AB

Multibody model konstrukčního návrhu nízkopodlažního kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab (obr. 1) byl vytvořen na základě číselných údajů a konstrukčních výkresů poskytnutých výrobcem, společností ŠKODA OSTROV s.r.o..

Multibody model kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab [1] je tvořen 24 tuhými tělesy (odpovídají jednotlivým konstrukčním částím autobusu nebo se jedná o tzv. "pomocná" tělesa), která jsou navzájem svázána kinematickými vazbami. Model má 31 stupňů volnosti. Jednotlivá tělesa jsou definována setrvačnostními vlastnostmi (hmotností, souřadnicemi těžišť a hmotovými momenty setrvačnosti). Vzduchové pružiny, tlumiče a silentbloky jsou modelovány propojením odpovídajících tuhých těles pružně tlumícími prvky. Pneumatiky jsou modelovány s využitím *Tire Modulu* při uvažování suché vozovky.

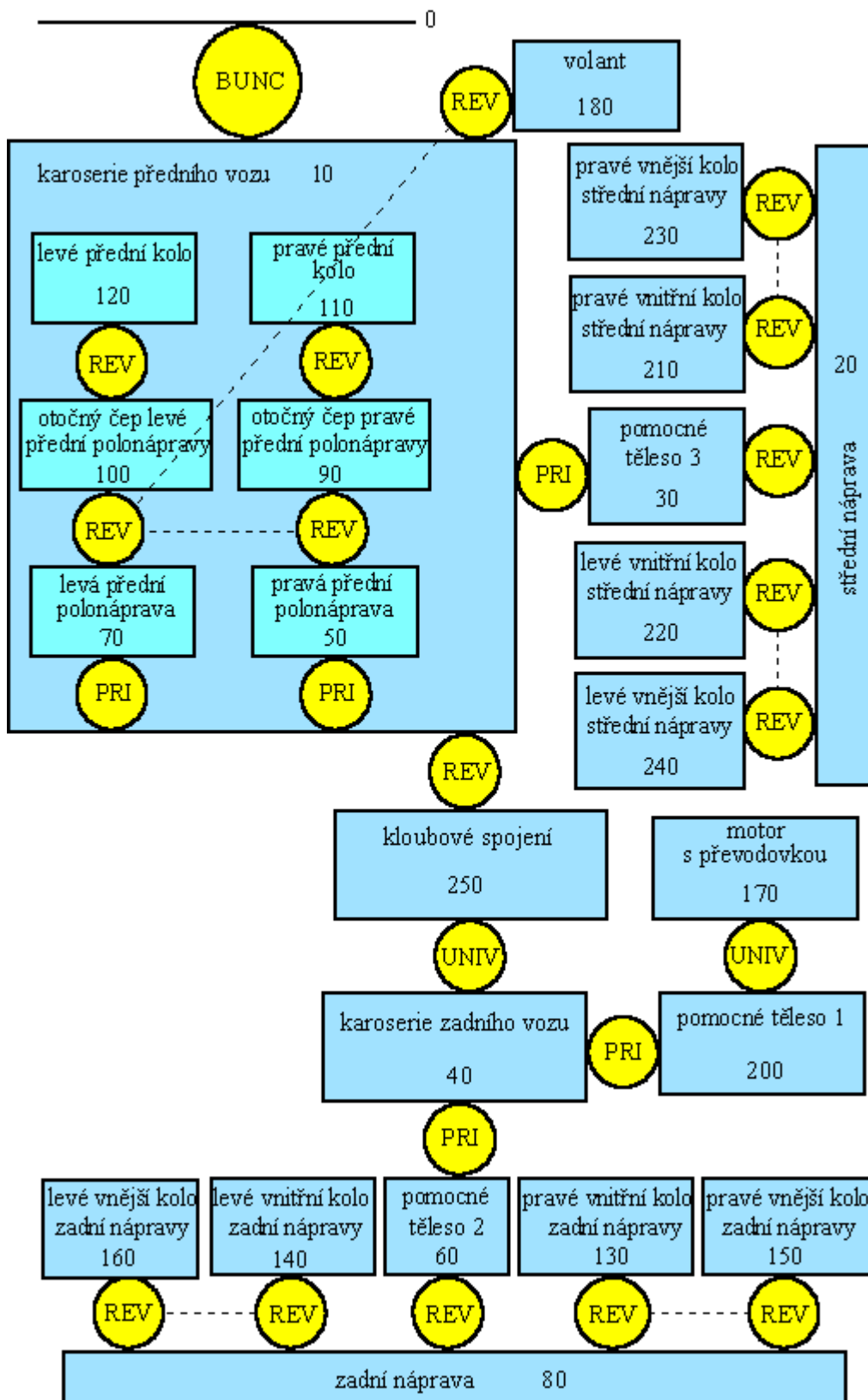


Obr. 1 Multibody model konstrukčního návrhu kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab

S multibody modelem konstrukčního návrhu kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab lze provádět:

1. simulace jízdních úkonů (brzdění, "slalom", předjíždění, jízda do zatáčky a zrychlování v zatáčce) - výsledky dávají informaci o jízdních vlastnostech autobusu (na základě výsledků simulace brzdění lze posoudit vhodnost použitého brzděného systému, výsledky simulací ostatních jízdních úkonů lze využít např. pro posouzení jízdní stability vozidla)
2. simulaci jízdy přes umělou překážku - výstupy časových průběhů dynamických sil v prvcích vypružení náprav (tzn.vzduchových pružinách a tlumičích) jsou vstupními daty pro výpočet namáhání karoserie programy MKP, časové závislosti relativních výchylek vzduchových pružin a relativních rychlostí v tlumičích dávají informaci o vhodnosti použitých prvků vypružení,
3. simulaci pomalého čelního nárazu na betonovou stěnu - výstupy jsou vstupními daty pro posouzení deformace nosné kostry vozidla programy MKP,
4. simulaci jízdy po nerovné vozovce - výstupy lze využít v oblasti hodnocení únavové životnosti dynamicky zatěžovaných konstrukcí.

Kinematické schéma multibody modelu konstrukčního návrhu kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab je na obr. 2. Obdélníky označují tuhá tělesa (čísla udávají identifikační čísla těles v datových souborech), kroužky označují kinematické vazby (BUNC = volná, souřadnicový systém s Bryantovými úhly, REV = rotační, PRI = posuvná, UNIV = univerzální, tj. kardanův kloub). Přerušované čáry spojují vzájemně závislé kinematické vazby.



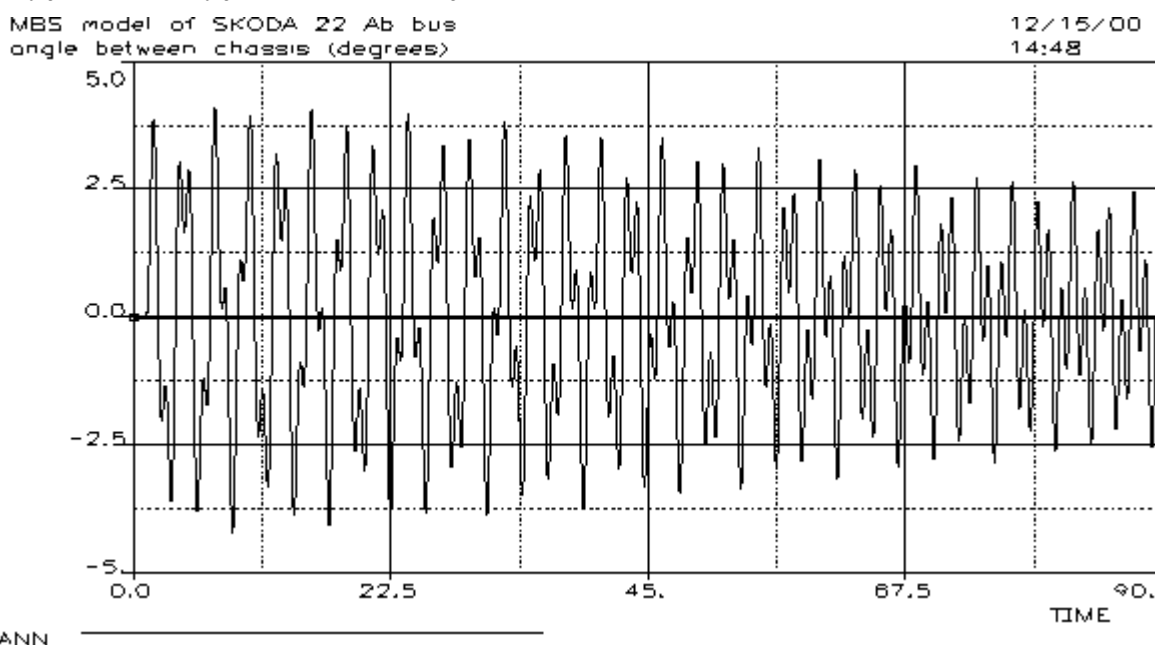
Obr. 2 Kinematické schéma multibody modelu kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab

3. VYŠETŘOVÁNÍ JÍZDNÍ STABILITY

Všechny druhy článkových vozidel mají sklon k bočnímu kmitání. Příčinou vzniku tohoto kmitání může být prudký řídicí pohyb nebo vnější vliv (např. boční vítr, nerovnosti vozovky, kluzká vozovka, apod.) [2]. Při nižších rychlostech jízdy boční kmitání většinou rychle doznívá, článkové vozidlo zůstává stabilní. Při vyšších rychlostech nemusí dojít k ustálení bočního kmitání, jeho amplitudy se zvětšují, tzn. článkové vozidlo se stává nestabilním.

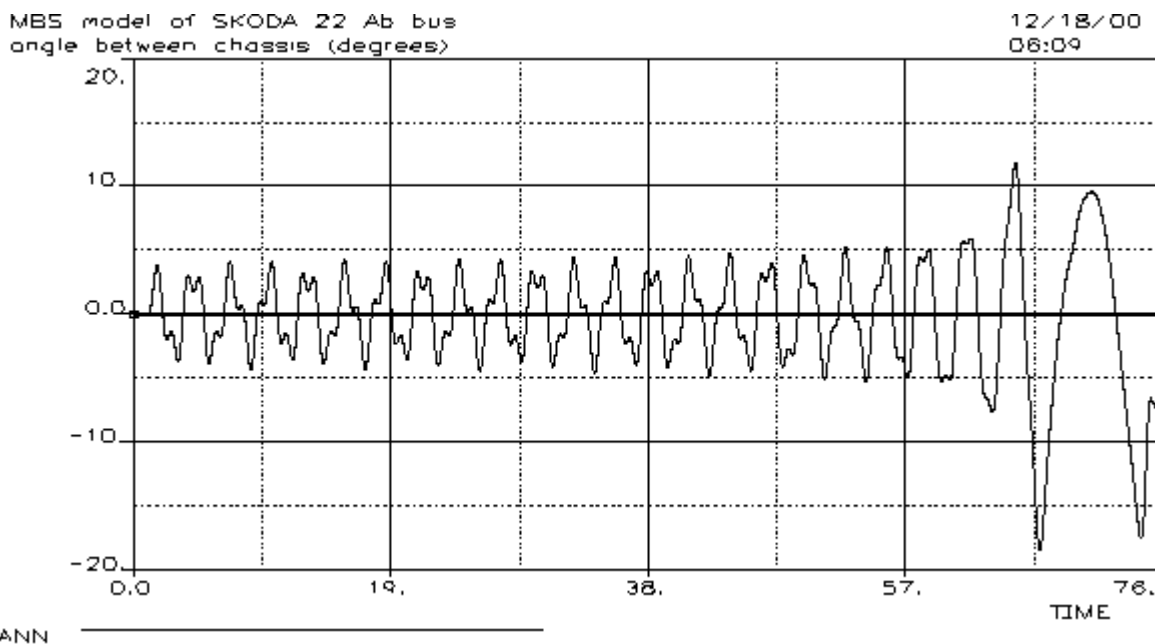
Konstrukční návrh kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab uvažuje umístění motoru do zadní části vozidla. Motor pohání zadní neřízenou nápravu, jedná se o tzv. tlačný kloubový autobus. U těchto autobusů může dojít ke ztrátě jízdní stability i při zatáčení. Hnací síla působící na zadní nápravu se přenáší do kloubového spojení mezi předním a zadním vozem. Při zatáčení vznikne v kloubovém spojení příčná síla. Nestáč-li boční vodící síly pneumatik kol střední nápravy a tlumící síly v kloubovém spojení zachytit tuto příčnou sílu, dojde ke smyku kol střední nápravy a následně k tzv. „zlomení“ kloubového autobusu (zadní vůz se natáčí směrem do zatáčky). V konstrukčním návrhu kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab je uvažováno netlumené kloubové spojení.

Jízdní stabilita konstrukčního návrhu kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab byla vyšetřována při simulaci čtyř jízdních úkonů: střídavého natáčení volantu na obě strany („slalom“), natočení volantu o určitý úhel a vrácení do původní polohy (předjíždění), natočení volantu o určitý úhel při dané nájezdové rychlosti (jízda do zatáčky) a jízdy se zrychlením v zatáčce konstantního poloměru [3]. Při simulacích nebyl uvažován vliv aktivních zásahů řidiče do řízení vozidla a vliv nerovností vozovky. Všechny uvedené jízdní úkony byly posuzovány podle stejných hodnot tzv. mezních rychlostí jízdní stability (mezní rychlosti jsou maximální rychlosti při daném úhlu natočení předních kol od přímého směru, při kterých ještě nesmí dojít ke ztrátě jízdní stability). Sledovanou veličinou při simulacích je časový průběh úhlu natočení předního a zadního vozu autobusu (tzv. úhlu lomení), při simulacích jízdy do zatáčky a jízdy se zrychlením v zatáčce konstantního poloměru navíc časový průběh relativního úhlu natočení předního vozu vzhledem k jeho teoretické poloze. Na obr. 3 a obr. 4 jsou časové průběhy úhlu lomení (ve stupních) při simulaci jízdního úkonu „slalom“ při amplitudě úhlu natočení předních kol 4° . Při rychlosti jízdy 111 km/h je autobus ještě stabilní (obr. 3), při rychlosti 112 km/h dojde v čase 75 sekund od počátku simulace ke ztrátě jízdní stability (obr. 4). Čas ztráty jízdní stability je určen z animace jízdního úkonu.



Obr. 3 Průběh úhlu lomení při simulaci „slalomu“ (natočení kol 4° , rychlost 111 km/h)

Výsledky získané při simulacích jízdních úkonů ukázaly, že stávající konstrukční návrh kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab nespĺňuje požadavky kladené na jízdní stabilitu článkových vozidel. V nejbližší době budou posuzovány konstrukční úpravy, které by při zachování netlumeného kloubového spojení (požadavek výrobce) mohly vést ke zlepšení jízdní stability vozidla (např. změna konstrukce závěsů náprav, změna polohy těžiště zadního vozu autobusu, apod.).

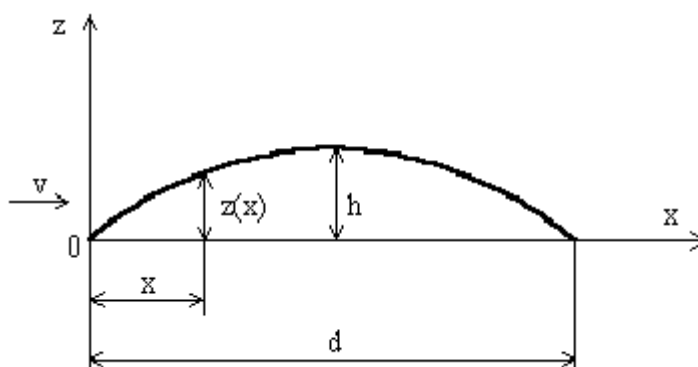


Obr. 4 Průběh úhlu lomení při simulaci „slalomu“ (natočení kol 4° , rychlost 112 km/h)

4. JÍZDA PŘES UMĚLOU PŘEKÁŽKU

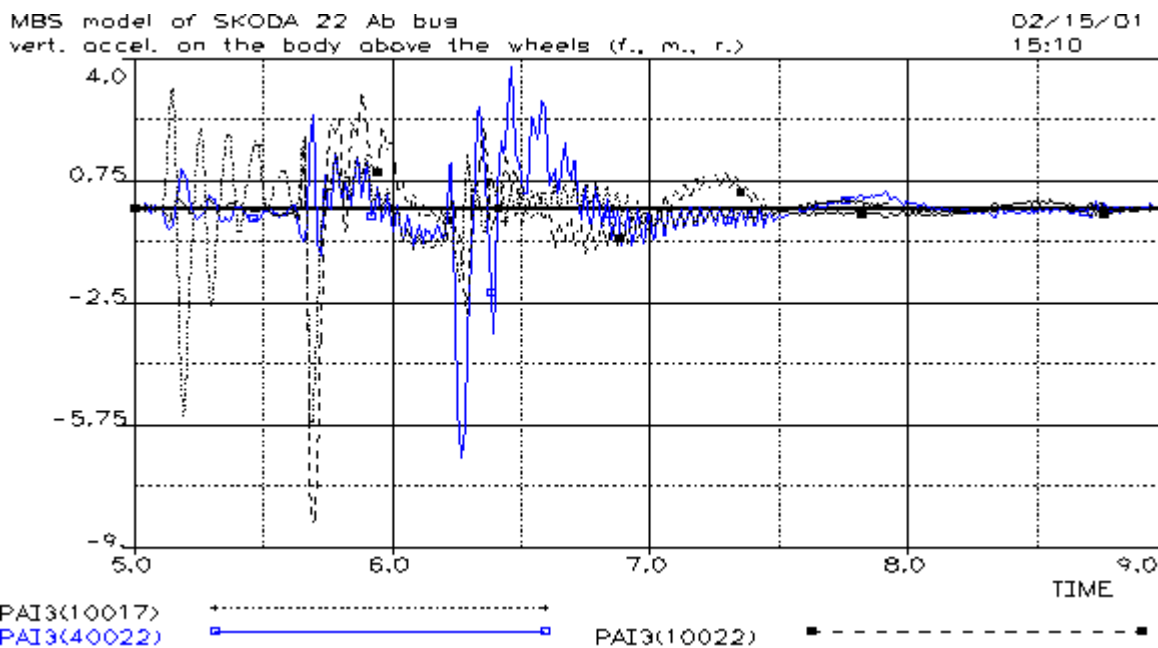
Dynamické vlastnosti vypružení náprav vozidel se vyšetřují při jízdě přes umělou překážku (podle normy ČSN 30 0560). Vlivem kinematického buzení kol vyvolaného přejezdem překážky dochází ve vypružení náprav k vybuzení vnitřních dynamických sil, které mají rozhodující vliv na úroveň dynamických napětí v konstrukci karoserie a v podvozkových částech vozidla. Vypočtené časové průběhy relativních výchylek vzduchových pružin a relativních rychlostí v tlumičích slouží k posouzení vlastností vypružení náprav vozidla, časové průběhy sil působících ve vzduchových pružinách a tlumičích a extrémní hodnoty časových průběhů vertikálního zrychlení na karoserii vozidla jako vstupní data pro výpočet namáhání karoserie MKP programy.

Konstrukční návrh kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab je odvozen z konstrukce nízkopodlažního autobusu ŠKODA 21 Ab a jsou v něm použity i stejné prvky vypružení náprav. Dynamické vlastnosti vypružení multibody modelu autobusu ŠKODA 21 Ab [4] byly verifikovány s výsledky experimentálního měření při jízdě reálného prototypu přes umělou překážku ve tvaru válcové úseče výšky 60 mm (viz obr. 5) při rychlosti 40 km/h [5]. V multibody modelu konstrukčního návrhu kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab jsou použity již verifikované charakteristiky vzduchových pružin a tlumičů.



Obr. 5 Umělá překážka

Časové průběhy vertikálního zrychlení na karoserii autobusu při přejezdu umělé překážky pouze levými koly při rychlosti jízdy 40 km/h jsou na obr. 6 (PAI3(10017) - vertikální zrychlení nad přední nápravou, PAI3(10022) - vertikální zrychlení nad střední nápravou, PAI3(40022) - vertikální zrychlení nad zadní nápravou).

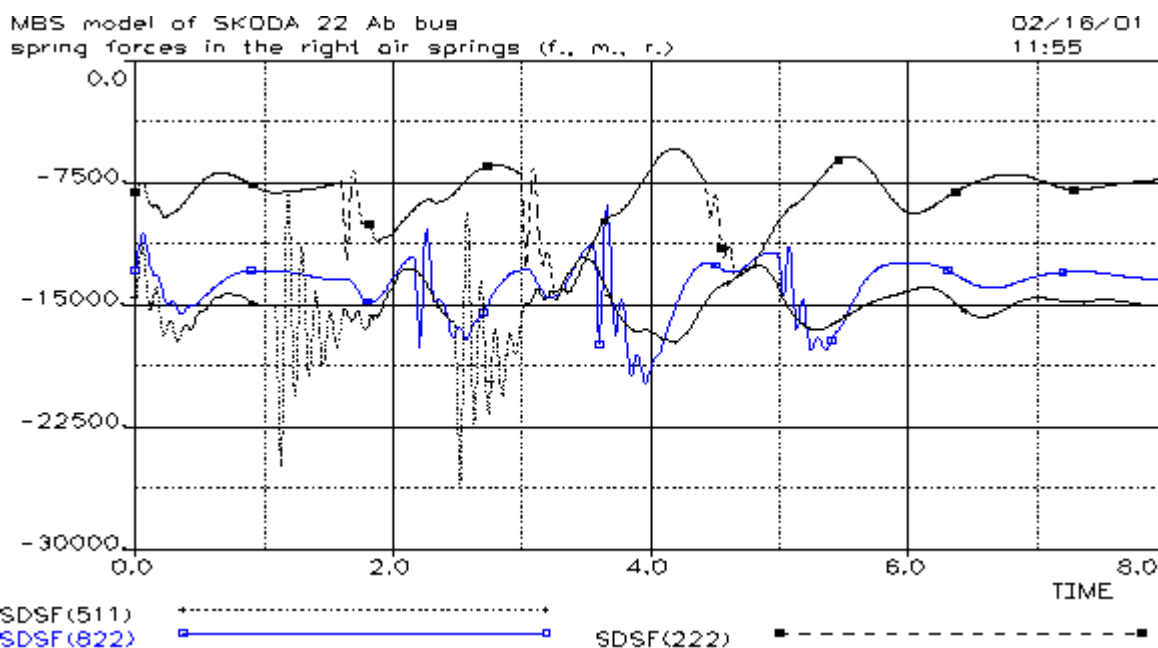


Obr. 6 Vertikální zrychlení nad nápravami při přejezdu umělé překážky [m/s^2]

Časové průběhy relativních výchylek vzduchových pružin a relativních rychlostí v tlumičích a jejich extrémní hodnoty získané při simulaci jízdy přes umělou překážku s multibody modelem konstrukčního návrhu autobusu ŠKODA 22 Ab jsou obdobné jako u autobusu ŠKODA 21 Ab, u nějž je vhodnost použitých prvků vypružení náprav ověřena několikaletým provozem. Výpočet namáhání karoserie konstrukčního návrhu kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab s využitím výsledků MBS simulací zatím proveden nebyl.

5. JÍZDA PO NEROVNÉM POVRCHU

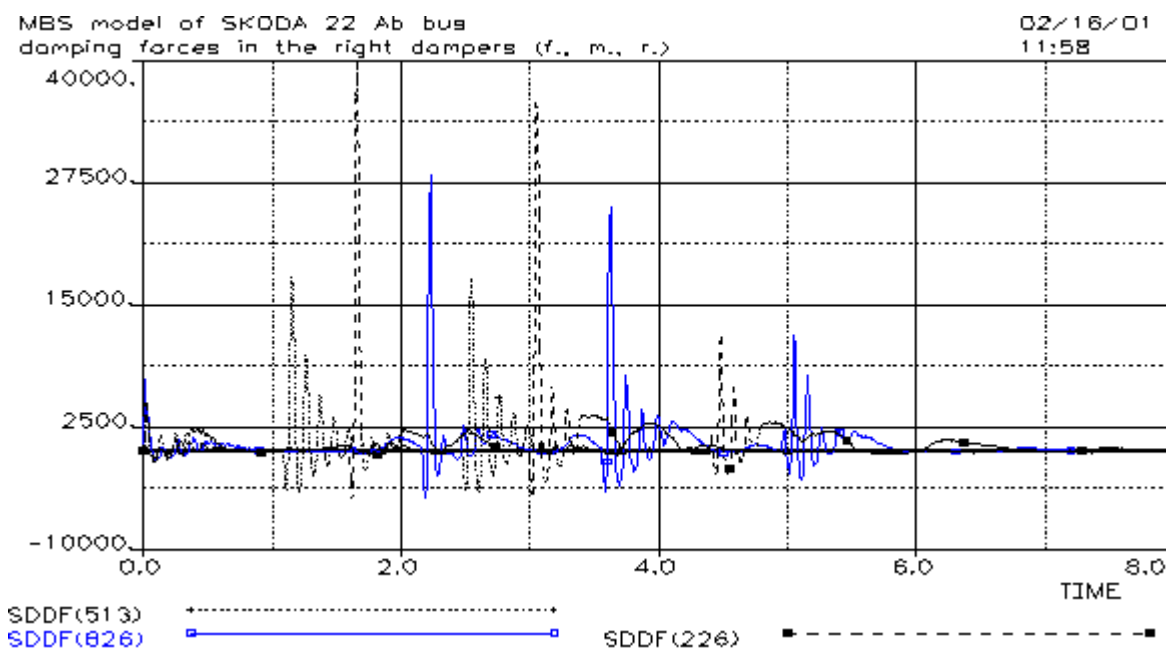
Simulace jízdy po nerovném povrchu vozovky slouží, obdobně jako simulace přejezdu umělé překážky, ke stanovení dynamických sil působících v prvcích vypružení náprav vozidla. Napětíové odezvy na tyto budící síly mají rozhodující vliv na únavovou životnost kritických konstrukčních uzlů vozidla.



Obr. 7 Síly v pravých vzduchových pružinách při jízdě po virtuální zkušební trati [N]

Při experimentálních měřeních na reálných vozidlech se nerovný povrch vozovky nahrazuje rozestavením umělých překážek na relativně hladké vozovce. Na zkušební trati, která byla vytvořena

ze tří umělých překážek rozmístěných na vozovce cca po 15 metrech, byla provedena experimentální měření na reálném prototypu autobusu ŠKODA 21 Ab. První překážka byla přejížděna pouze pravými koly, druhá oběma a třetí pouze levými koly při rychlosti jízdy 40km/h. Výsledky měření byly porovnány s výsledky simulací jízdy multibody modelu autobusu ŠKODA 21 Ab po virtuální zkušební trati za podmínek odpovídající experimentu [6]. Zkušenosti ze simulací s verifikovaným multibody modelem autobusu ŠKODA 21 Ab byly uplatněny při simulaci jízdy po nerovné vozovce s multibody modelem konstrukčního návrhu kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab. Stejně jako v případě simulace přejezdu umělé překážky jsou časové průběhy sil působících ve vzduchových pružinách (obr. 7; SDSF(511) – síla v pružině pravé přední polonápravy, SDSF(222) – síla v pravé pružině střední nápravy, SDSF(822) – síla v pravé pružině zadní nápravy) a tlumičích (obr. 8; SDDF(513) – síla v tlumiči pravé přední polonápravy, SDDF(226) – síla v pravém tlumiči střední nápravy, SDDF(826) – síla v pravém tlumiči zadní nápravy) i jejich extrémní hodnoty získané při simulaci s multibody modelem konstrukčního návrhu kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab obdobné jako u autobusu ŠKODA 21 Ab.



Obr. 8 Síly v pravých tlumičích při jízdě po virtuální zkušební trati [N]

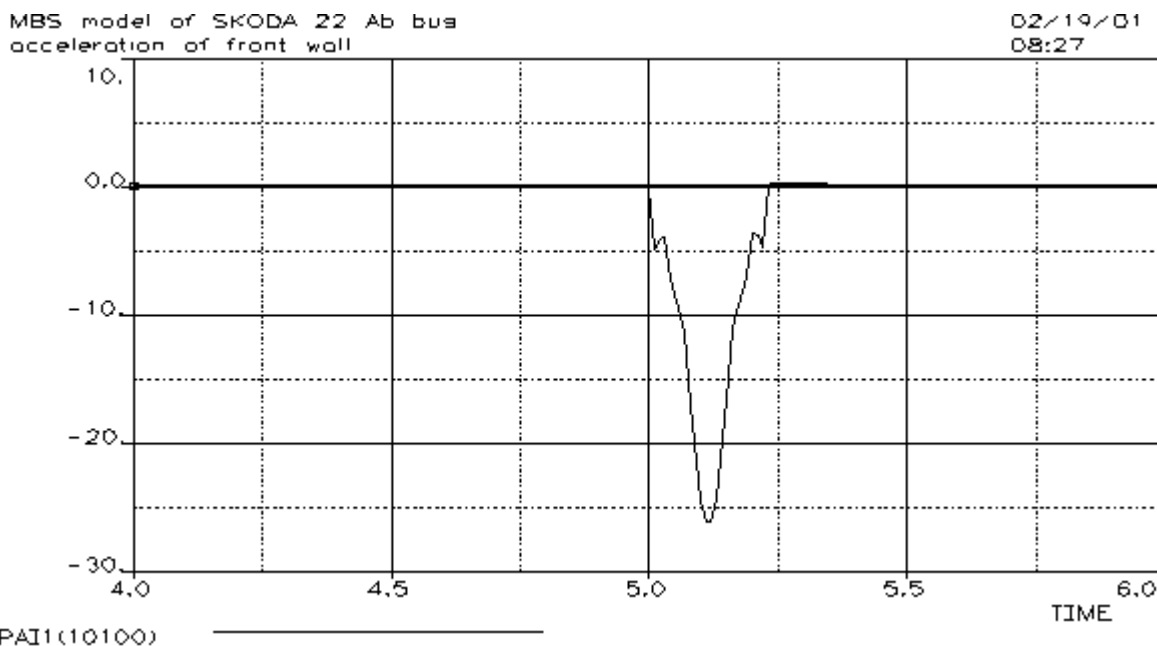
Metodika zpracování a využití výsledků simulace jízdy po nerovné vozovce v oblasti hodnocení únavové životnosti je uvedena na příkladu nosníku pérování zadní nápravy autobusu ŠKODA 21 Ab v [7]. Výsledky simulace jízdy po nerovné vozovce s multibody modelem kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab zatím obdobným způsobem zpracovány nebyly.

6. POMALÝ ČELNÍ NÁRAZ

Čelní náraz vozidla do betonové stěny při rychlosti 5 km/h je jednou ze zkoušek, kterými se ověřují provozovateli požadované vlastnosti vozidel hromadné dopravy. V praxi může dojít k pomalému čelnímu nárazu např. při dojezdu ve vozovně a nemělo by při něm dojít k trvalé deformaci konstrukce vozidla. Z tohoto požadavku vychází i konstrukční návrh přední stěny kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab, ve kterém je použit nárazník amerického výrobce ROMEO RIM (je jím vybaven mj. trolejbus ŠKODA 14 Tr verze San Francisco).

Simulace čelního nárazu byla provedena umístěním pružného prvku mezi přední část karoserie a základ (betonovou stěnu) [8]. Jeho charakteristikou je zatěžovací charakteristika nárazníku, která byla experimentálně změřena na hydraulickém zatěžovacím stroji SCHENCK 400 kN na Akreditované dynamické zkušebně ŠKODA VÝZKUM s.r.o..

Sledovanou veličinou při simulaci pomalého čelního nárazu je extrémní hodnota časového průběhu zrychlení na přední stěně autobusu (obr. 9), která bude použita jako vstupní hodnota pro výpočet deformace konstrukce kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab MKP programy.



Obr. 9 Zrychlení na přední stěně autobusu při pomalém čelním nárazu [m/s^2]

7. ZÁVĚR

V příspěvku je uveden souhrn simulací s multibody modelem kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab, které byly využity pro zlepšení jeho mechanických vlastností ještě ve stádiu konstrukčního návrhu. Při aplikacích výsledků simulací si je však nutné uvědomit, že popisují pouze chování vytvořeného virtuálního mechanického modelu, nikoliv budoucí reálné soustavy. Z tohoto důvodu je potřeba s výsledky simulací zacházet uvážlivě.

Příspěvek je součástí řešení grantu GA ČR s názvem "Vývoj a ověření metodiky pro hodnocení únavové životnosti reálných i virtuálních prototypů dynamicky zatěžovaných konstrukcí a jejich částí", který je registrován pod číslem 101/99/1668.

8. LITERATURA

- [1] Polach P.: MBS model kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab se zpřesněnou kinematikou zavěšení náprav, výzkumná zpráva ŠKODA VÝZKUM s.r.o., VYZ 0320/99, Plzeň, 1999, 21 str.
- [2] Vlk F.: Dynamika motorových vozidel, Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno, 2000
- [3] Polach P.: Vyšetřování jízdní stability kloubového autobusu ŠKODA 22 Ab v prostředí programu **alaska**, sborník 15. konference s mezinárodní účastí Výpočtová mechanika '99, FAV ZČU v Plzni, Nečtiny, 1999, str. 277-284
- [4] Polach P.: MBS modely autobusu ŠKODA 21 Ab a simulace přejezdu překážky, výzkumná zpráva ŠKODA VÝZKUM s.r.o., VYZ 0319/99, Plzeň, 1999, 49 str.
- [5] Kepka M., Kotas M., Frémund J.: Tenzometrické měření dynamických napětí na 1. prototypu autobusu ŠKODA 21 Ab, výzkumná zpráva ŠKODA VÝZKUM s.r.o., VZVÚ 0973, Plzeň, 1995, 25 str.
- [6] Polach P.: Verifikace dynamických vlastností vypružení MBS modelů autobusu ŠKODA 21 Ab, výzkumná zpráva ŠKODA VÝZKUM s.r.o., VYZ 0444/2000, Plzeň, 2000, 58 str.
- [7] Polach P., Hejman M., Kotas M., Kepka M.: Identifikace budících sil ve vypružení autobusu a jejich další využití, sborník 38. mezinárodní konference Experimentální analýza napětí 2000, ÚMT FS VUT v Brně, Třešť, 2000, str. 253-261
- [8] Polach P.: Simulace pomalého čelního nárazu s MBS modely autobusů ŠKODA, výzkumná zpráva ŠKODA VÝZKUM s.r.o., VYZ 0333/99, Plzeň, 1999, 15 str.
- [9] **alaska**, User Manual, Version 2.3, Institute of Mechatronics Chemnitz, 1996
- [10] Shampine L. F., Gordon M. K.: Computer-Lösung gewöhnlicher Differentialgleichungen, Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1984