

Experimentální **A**nalýza **N**apětí **2005**

RUNNING TESTS OF TANK SEMITRAILER AND THEIR COMPUTER SIMULATIONS

PROVOZNÍ ZKOUŠKY CISTERNOVÉHO NÁVĚSU A JEJICH POČÍTAČOVÉ SIMULACE

Petr Kindelmann¹

ZVVZ Milevsko Ltd. is producer of tank semitrailers. During running tests of the semitrailer NCH 40 stresses were identified in the course of following driving modes: running over the normalized obstacles, rotation, starting, braking, run on the public highway. These running situations were simulated in alaska software. The results of simulations (time histories of forces and moments) were used as input data to FEM calculations in program COSMOS/M. The results of FEM calculations were compared with the measured data.

Keywords

Tank Semitrailer, Multibody Model, Finite Element Method

Úvod

V rámci zakázky od společnosti ZVVZ a.s. „Výpočtová a experimentální podpora řešení pevnosti a provozní životnosti cisternového návěsu“ byly jak v programu alaska, tak i v programu COSMOS/M simulovány provozní situace provedené s reálnou jízdní soupravou při provozních zkouškách na letišti Všechov (tzn. přejezdy výrazné nerovnosti vozovky realizované umělou překážkou podle ČSN 30 0560, rozjezd, brždění, náhlý předjížděcí manévr podle ISO 3888-1 a průjezd zatáčkou) a statické najetí cisternového návěsu levými koly na obrubník. Tyto provozní situace byly simulovány pro tři možnosti provozu cisternového návěsu: prázdný návěs se zvednutou první nápravou, prázdný návěs se spuštěnou první nápravou a naložený návěs (se spuštěnou první nápravou).

Experimentální měření

Objekt měření

Předmětem měření [1] byl cisternový návěs NCH-40 (viz obr. 1), výrobce ZVVZ a.s. Milevsko.

¹ Ing. Petr Kindelmann : Škoda Výzkum s.r.o., Tylova 57, 316 00 Plzeň, tel.: +420-378132968, e-mail: petr.kindelmann@skoda.cz



Obr. 1. Cisternový návěs za tahačem Scania 124L

Celková hmotnost tahače byla 7260 kg, prázdného návěsu 4600 kg. Naložený návěs měl celkovou hmotnost 36420 kg. Materiál návěsu je hliníková slitina AlMg4,5Mn dle DIN 1725T.1-83, jehož ekvivalentem je AlMg5 dle ČSN 424415-81. Použitý materiál má následující mechanické vlastnosti:

Mez pevnosti $R_m = 275 \text{ MPa}$

Mez kluzu $R_p = 125 \text{ MPa}$

Tažnost $A = 12\%$

Cíle měření

Cílem měření bylo zjištění napjatosti návěsu při následujících jízdních režimech:

- přejezd přes normalizované překážky
- otáčení vlevo do protisměru rychlostí cca 20 km/h
- otáčení vpravo do protisměru rychlostí cca 20 km/h
- intenzivní zabrzdění po rozjezdu na rychlost cca 80 km/h
- jízda po veřejné komunikaci

Instrumentace měření

Na cisterně bylo instalováno celkem 17 tenzometrů s jednou měřicí mřížkou LY13-6/120 a 4 pravoúhlé růžice RY93-6/120, výrobce HBM, SRN.

V přední části cisterny, uprostřed příruby, v podélné ose cisterny byl umístěn indukční snímač zrychlení B12/500, výrobce HBM, SRN.

Na druhé nápravě cisterny byly paralelně s pružícími měchy nainstalovány dva snímače zdvihu W300 od firmy HBM, SRN. Snímače zdvihu byly umístěny na držácích cca 100 mm směrem dovnitř rámu a 100 mm směrem dopředu ve směru jízdy vůči ose vzduchové pružiny. Osy snímačů byly rovnoběžné s osami vzduchových pružin.

Měřicí řetězec

Všechny výše uvedené snímače byly rozděleny do dvou sérií, protože použitý měřicí systém umožňoval vzorkovat simultánně pouze 16 kanálů.

Všechny snímače byly napájeny střídavým buzením 2,5 V/ 4,8 kHz, Na měřicí elektronice Spider8 byly nastaveny následující měřicí rozsahy:

- 3 mV/V pro tenzometry
- 125 mV/V pro snímače zdvihu a akcelerometr.

Vzorkovaná data byla ukládána do diskových souborů. Vzorkovací frekvence byla 400S/s pro každý kanál. Všechna data byla v průběhu vzorkování filtrována dolnoproústným Butterworthovým filtrem s mezní frekvencí 40 Hz.

Měřené signály byly vzorkovány programem CATMAN 4.5 (HBM, SRN).

Průběh měření

Překážky měly tvar válcové úseče podle ČSN 300560. Přejezd přes překážky byl proveden v sestavě PRAVÁ – OBĚ – LEVÁ. Rychlost přejezdu pře překážky byla

30 km/h a 60 km/h pro prázdný cisternový návěs

20 km/h a 30 km/h pro naložený cisternový návěs.

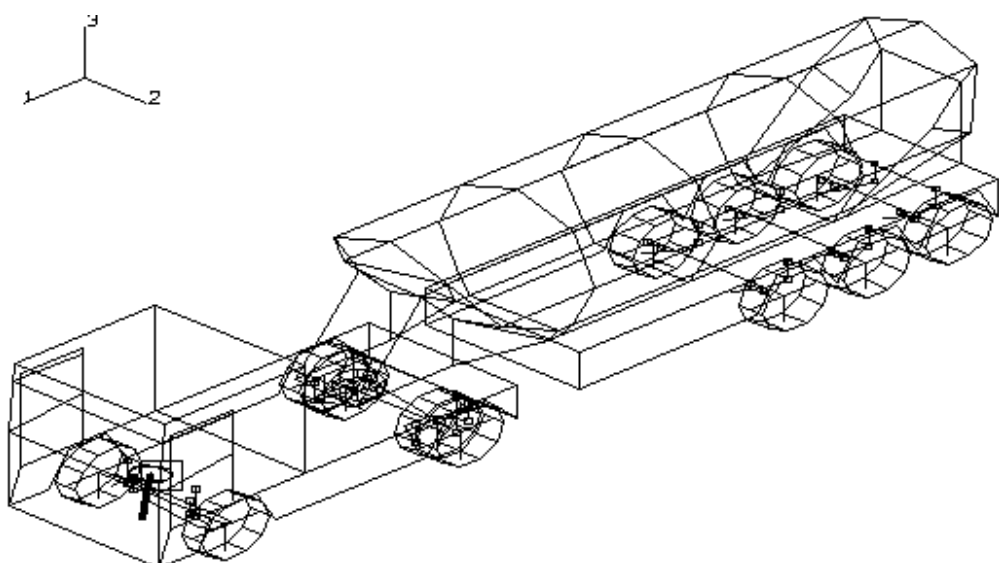
Otáčení vlevo, resp. vpravo do protisměru bylo provedeno na oblouku o vnějším průměru cca 30 m (šířka dráhy na letišti) při rychlosti cca 20 km/h.

Při manévru rozjezd-brzdění byl proveden rozjezd soupravy na rychlost cca 80 km/h a potom následovalo intenzivní zabrzdění. Tento manévr byl proveden pouze s naloženou cisternou.

Každý jízdní manévr byl proveden třikrát pro každý zátěžný stav návěsu. Jízda po veřejné komunikaci byla provedena pro každý zátěžný stav návěsu pouze jednou. Délka trasy celého okruhu byla 54,5 km.

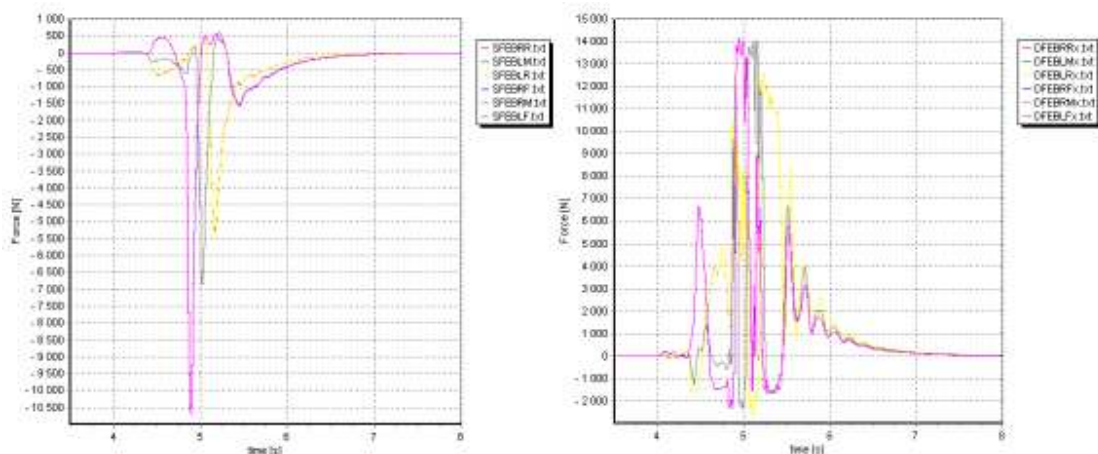
MBS simulace

Při simulacích pohybu s multibody modely [2] jsou programem alaska sestaveny Lagrangeovou metodou nelineární pohybové rovnice, které jsou řešeny přímou numerickou integrací.

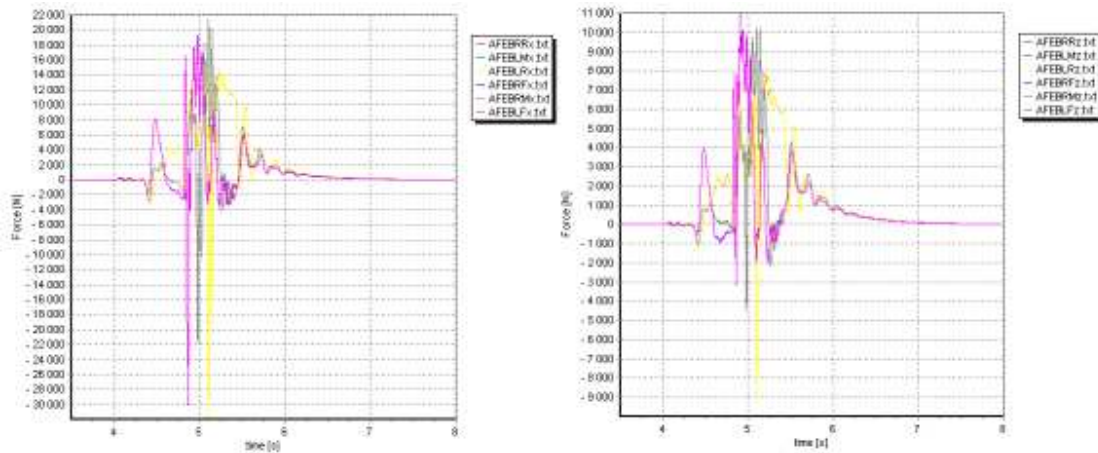


Obr. 2. Multibody model cisternového návěsu za tahačem Scania 124L

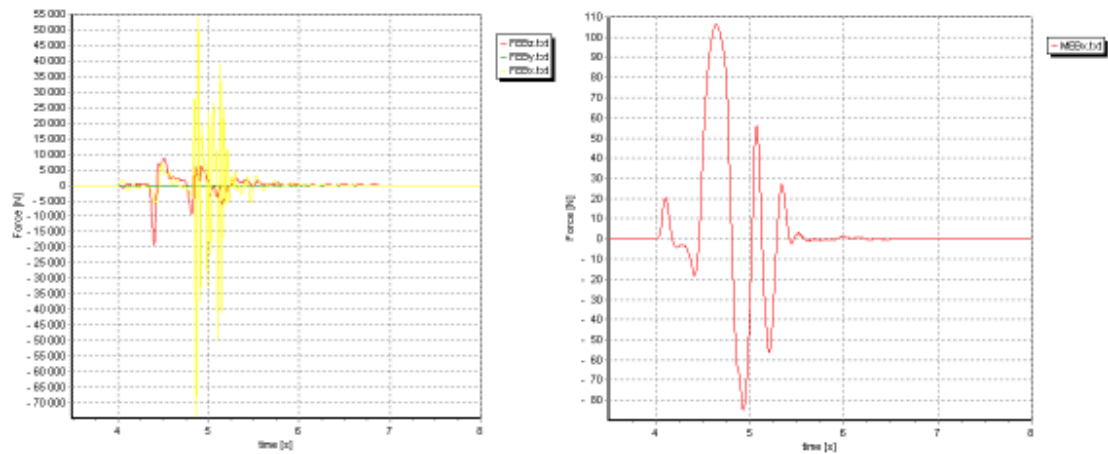
Při simulacích vybraných provozních situací s multibody modely jízdní soupravy jsou vyšetřovány pouze kinematické a dynamické vlastnosti cisternového návěsu. Sledovanými veličinami jsou síly a moment působící v točnici, síly působící v prvcích vypružení náprav (tzn. ve vzduchových pružinách a v tlumičích), relativní výchylky vzduchových pružin, relativní rychlosti v tlumičích a síly působící ve vodících tyčích náprav. Výsledky simulací některých provozních situací byly použity jako vstupní data pro výpočet namáhání MKP modelu cisternového návěsu v programu COSMOS/M. Na obr. 3 až 5 jsou uvedeny časové závislosti sil a momentu pro prázdný cisternový návěs se spuštěnou první nápravou při přejezdu překážky všemi koly rychlostí 40 km/h.



Obr. 3. Síly v pružinách (vlevo) a síly v tlumičích (vpravo)



Obr. 4. Podélné (vlevo) a vertikální (vpravo) síly ve vodičích tyčích



Obr. 5. Síly v točnici (vlevo) a moment v točnici (vpravo)

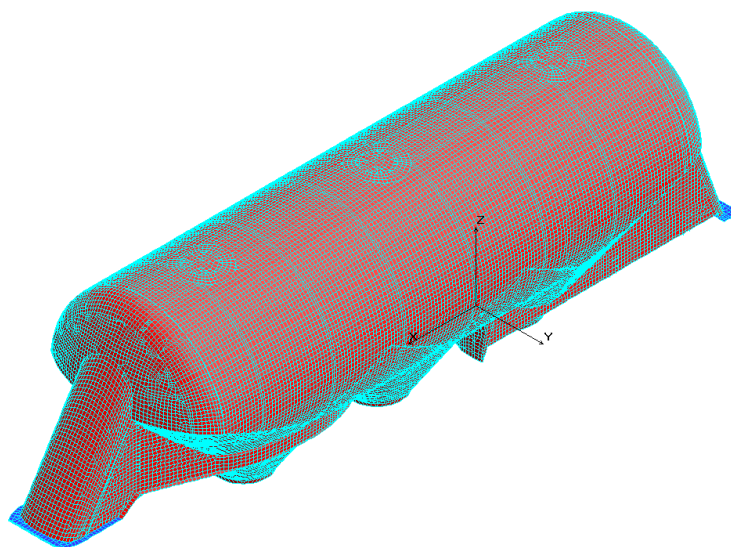
Statické MKP výpočty

Statické výpočty byly provedeny na MKP modelu s prázdným i naloženým cisternovým návěsem v programu COSMOS/M [3].

Napětí jsou vypočtena jako redukovaná napětí $\sigma_{VonMises}$. Pro vzorec napětí $\sigma_{VonMises}$ platí:

$$\sigma_{VonMises} = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_x^2 + \tau_y^2 + \tau_z^2)} \quad (1)$$

Napětí $\sigma_{VonMises}$ udává obraz rozložení absolutní napjatosti na konstrukci.



Obr. 6. MKP model cisternového návěsu

Zatížení od vlastní hmotnosti

Zatížení návěsu bylo simulováno gravitačním zrychlením o velikosti 9.81 m/s.

MKP model cisterny byl umístěn na pružinách. Jejich tuhosti byly laděny tak, aby reakční síly v pružinách odpovídaly statickým silám dodaných z výpočtů MBS modelu v programu *alaska*. V místech uchycení vodících tyčí byly zavedeny statické síly. MKP model byl uchycen v místě pružin a v místě nosu cisterny (bylo zabráněno posuvům ve všech třech směrech).

U výpočtu naloženého návěsu je navíc uvažováno působení hydrostatického tlaku.

Krut

Pro statický výpočet krutu bylo uvažováno najetí levých kol cisternového návěsu na obrubník (výška obrubníku byla uvažována 0.1524 m = výška normalizované překážky). Bylo spočteno 5 úloh.

Úloha E2 – prázdný návěs se spuštěnou první nápravou – najetí na obrubník levými koly první a třetí nápravy.

Úloha E3 – prázdný návěs se spuštěnou první nápravou – najetí na obrubník všemi levými koly.

Úloha T – prázdný návěs se zvednutou první nápravou – najetí na obrubník všemi levými koly.

Úloha F2 – naložený návěs – najetí na obrubník levými koly první a třetí nápravy.

Úloha F3 – naložený návěs – najetí na obrubník všemi levými koly.

Průjezd zatáčkou

Pro statický výpočet průjezdu zatáčkou bylo uvažováno zatočení doleva při úhlu natočení předních kol 15° (o poloměru zatáčení cca 15 m) při rychlosti jízdy 20 km/h.

Dynamické MKP výpočty

Simulace přejezdu překážek

Přejezdem překážek se rozumí jízda cisterny s návěsem přímým směrem přes několik normalizovaných překážek. Každá z těchto překážek má v řezu tvar kruhové úseče o délce základny 500 mm a výšce 60 mm (viz ČSN 30 0560). Překážky byly seřazeny v pořadí "*pravá*", "*obě*", "*levá*", vůz je přejíždí nejprve pravým kolem, pak oběma koly a nakonec levým kolem.

Přejezd překážek s prázdným cisternovým návěsem byl realizován pro rychlosti 40 km/h, resp. 60 km/h, pro cisternu s naloženým návěsem pro rychlost 20 km/h.

Jedinou výjimkou byl přejezd s naloženým cisternovým návěsem při rychlosti 30 km/h, kdy byla z bezpečnostních důvodů použita sestava překážek "*pravá*", "*levá*".

Na MKP modelu v programu COSMOS/M byly simulovány 3 úlohy:

Přejezd překážek s prázdným cisternovým návěsem se spuštěnou první nápravou při rychlosti 30 km/h.

Přejezd překážek s prázdným cisternovým návěsem se zvednutou první nápravou při rychlosti 30 km/h.

Přejezd překážek s naloženým cisternovým návěsem při rychlosti 40 km/h.

Simulace rozjezdu

Rozjezdy byly simulovány z klidu (0 km/h) na rychlost 60 km/h. U prázdného cisternového návěsu bylo uvažováno konstantní zrychlení 2 m/s^2 , u naloženého cisternového návěsu bylo uvažováno konstantní zrychlení 0.9 m/s^2 .

Na MKP modelu v programu COSMOS/M byly simulovány 3 úlohy:

Rozjezd prázdného cisternového návěsu se spuštěnou první nápravou z rychlosti 0 km/h na rychlost 60 km/h.

Rozjezd prázdného cisternového návěsu se zvednutou první nápravou z rychlosti 0 km/h na rychlost 60 km/h.

Rozjezd naloženého cisternového návěsu z rychlosti 0 km/h na rychlost 60 km/h.

Simulace brždění

Brždění byla simulována z počáteční rychlosti 60 km/h a z počáteční rychlosti 80 km/h. Bylo uvažováno konstantní zpomalení cisternového návěsu, které bylo stanoveno na základě výsledků provozních zkoušek.

Na MKP modelu v programu COSMOS/M byly simulovány 3 úlohy:

Brždění prázdného cisternového návěsu se spuštěnou první nápravou z počáteční rychlosti 80 km/h.

Brždění prázdného cisternového návěsu se zvednutou první nápravou z počáteční rychlosti 80 km/h.

Brždění naloženého cisternového návěsu z počáteční rychlosti 80 km/h.

Simulace náhlého předjížděcího manévru

Náhlý předjížděcí manévr byl simulován podle ISO 3888-1 při rychlosti jízdy 50 km/h.

Na MKP modelu v programu COSMOS/M byly simulovány 3 úlohy:

Náhlý předjížděcí manévr prázdného cisternového návěsu se spuštěnou první nápravou při rychlosti 50 km/h.

Náhlý předjížděcí manévr prázdného cisternového návěsu se zvednutou první nápravou při rychlosti 50 km/h.

Náhlý předjížděcí manévr naloženého cisternového návěsu při rychlosti 50 km/h.

Vyhodnocení dynamických výpočtů

Pro vyhodnocování dynamických výpočtů byla použita metodika, kterou lze ve stručnosti rozepsat do 3 kroků:

1) Vylistování normálových napětí SX, SY, SZ, TXY, TXZ, TYZ pro TOP i BOTTOM na všech skořepinových prvcích pro všechny časové kroky příslušející dané simulaci do souboru *macrolad.lis*.

2) Zpracování tohoto souboru podpurným programem *PD_eval_SXYZ.exe*. V každé z těchto řad napětí jsou vypočteny minimální a maximální hodnoty SXTmin, SXTmax, SYTmin, SYTmax, SZTmin, SZTmax, SXBmin, SXBmax, SYBmin, SYBmax, SZBmin, SZBmax. Z nich jsou vypočteny příslušné amplitudy napětí SXTa, SYTa, SZTa, SXBa, SYBa, SZBa podle vzorce

$$\sigma_a = (\sigma_{min} + \sigma_{max}) / 2 \quad (2).$$

Z těchto amplitud je vybrána největší a ta je přiřazena danému prvku. Výsledky jsou zapsány do ASCII souboru *sigel.ses*.

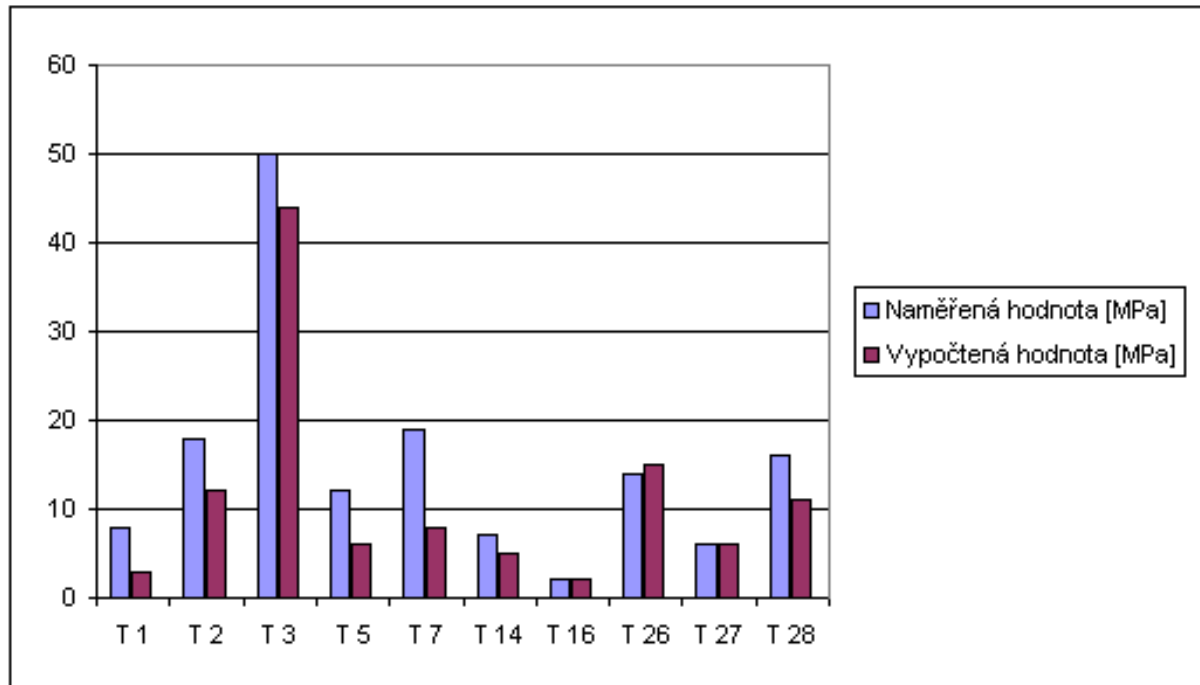
3) Načtení vytvořeného ASCII souboru *sigel.ses* do programu COSMOS/M a zobrazení amplitud napětí na cisternovém návěsu.

Porovnání naměřených a vypočtených hodnot amplitud napětí

V tab. 1 a 2 a na obr. 7 a 8 je porovnání naměřených a vypočtených hodnot amplitud napětí ve vybraných tenzometrech. Poloha těchto tenzometrů je ve směru rovnoběžném se svarem nebo ve směru kolmém ke svaru. Pro prázdný cisternový návěs (se spuštěnou první nápravou) byl porovnáván výpočet s měřením pro přejezd překážky všemi koly rychlostí 40 km/h, pro naložený cisternový návěs rychlost 30 km/h.

Číslo tenzometru	Naměřená hodnota [MPa]	Vypočtená hodnota [MPa]
T 1	8	3
T 2	18	12
T 3	50	44
T 5	12	6
T 7	19	8
T 14	7	5
T 16	2	2
T 26	14	15
T 27	6	6
T 28	16	11

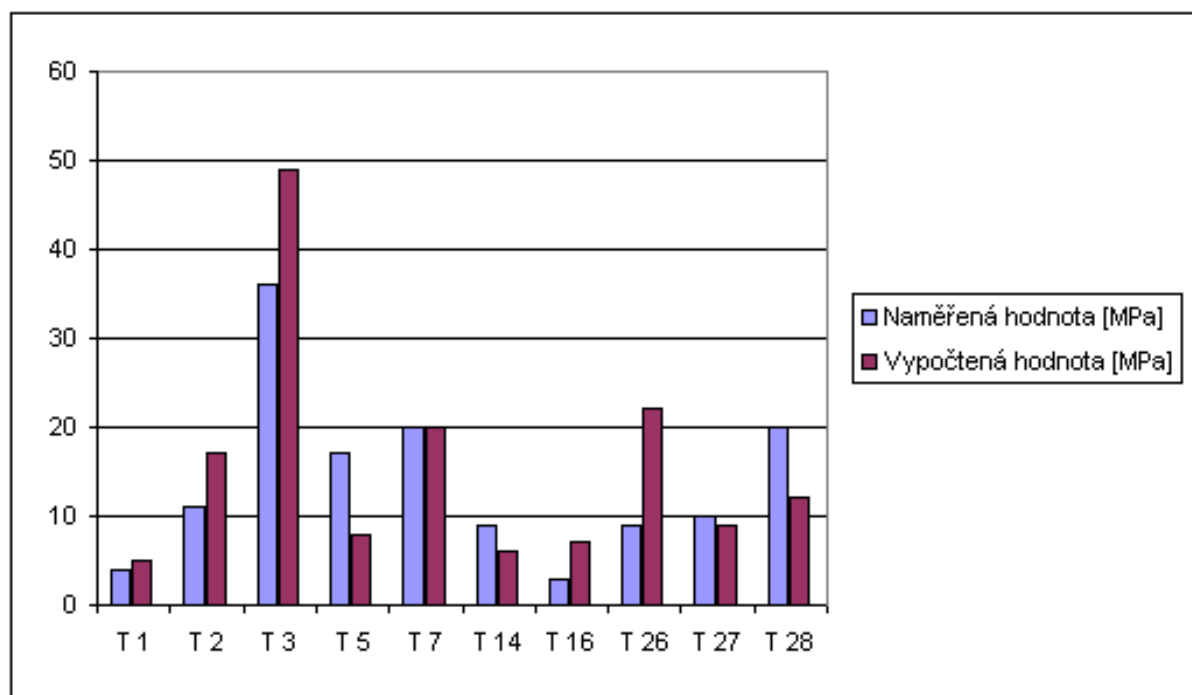
Tab. 1 Porovnání naměřených a vypočtených hodnot, prázdný cisternový návěs se spuštěnou první nápravou, přejezd překážky všemi koly



Obr. 7. Graf naměřených a vypočtených hodnot, prázdný cisternový návěs se spuštěnou první nápravou, přejezd překážky všemi koly

Číslo tenzometru	Naměřená hodnota [MPa]	Vypočtená hodnota [MPa]
T 1	4	5
T 2	11	17
T 3	36	49
T 5	17	8
T 7	20	20
T 14	9	6
T 16	3	7
T 26	9	22
T 27	10	9
T 28	20	12

Tab. 2 Porovnání naměřených a vypočtených hodnot, naložený cisternový návěs, přejezd překážky všemi koly



Obr. 8. Graf naměřených a vypočtených hodnot, naložený cisternový návěs, přejezd překážky všemi koly

Závěr

Při provozních zkouškách se zjišťovala napjatost cisternového návěsu při následujících jízdních režimech: přejezd přes normalizované překážky, otáčení vlevo do protisměru rychlostí cca 20 km/h, otáčení vpravo do protisměru rychlostí cca 20 km/h, intenzivní zabrzdění po rozjezdu na rychlost cca 80 km/h, jízda po veřejné komunikaci.

S využitím multibody modelů byly určeny časové průběhy sil ve vzduchových pružinách, tlumičích, vodících tyčích a točnici a časový průběh momentu v točnici. Výsledky těchto simulace sloužily jako vstupní data pro MKP výpočty cisternového návěsu v programu COSMOS/M.

Příspěvek vznikl v rámci řešení výzkumného záměru Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky MSM4771868401 „Výzkum provozní degradace perspektivních konstrukčních materiálů“.

Literatura

- [1] Václavík, J.: *Cisternový návěs NCH-40* - protokol o zkoušce č. 817a/2004, Plzeň, 2004, 114 str.
- [2] Polach, P.: *Simulace vybraných provozních situací s multibody modely cisternového návěsu ZVVZ NCH 40 za tahačem Scania 124L* – výzkumná zpráva ŠKODA VÝZKUM s.r.o. VYZ 0704/2004, Plzeň, 2004, 145 str.
- [3] Kindelmann, P.: *Statické a dynamické výpočty cisternového návěsu NCH 40* – výzkumná zpráva ŠKODA VÝZKUM s.r.o. VYZ 0703/2001, Plzeň, 2001, 66 str.
- [4] *alaska*, *User Manual, Version 2.3*, Institute of Mechatronics, Chemnitz, 1998
- [5] *COSMOS/M, Finite Element Analysis System, User Guide, Version 2.85*, SRAC, Los Angeles, 1999