



Národní konference s mezinárodní účastí
INŽENÝRSKÁ MECHANIKA 2002

13. – 16. 5. 2002, Svratka, Česká republika

**MIMOOSOVÉ ZATĚŽOVÁNÍ VLNOVCOVÉ
PNEUMATICKÉ PRUŽINY**

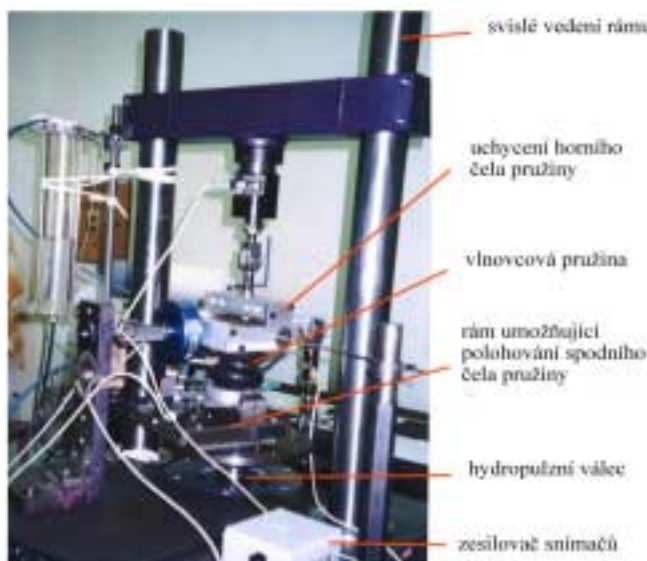
Bohdana Marvalová a Jan Prokop¹

Článek prezentuje výsledky experimentálního výzkumu chování vlnovcové dvouvlňové pneumatické pružiny při kvazistatickém osovém a mimoosovém zatěžování. Výsledky experimentů dávají dobrou představu o tom, jak způsob zatěžování pružiny ovlivňuje její osovou a příčnou tuhost.

Klíčová slova: vibroizolace, pneumatická pružina, tuhost pružiny, mimoosové zatížení, boční účinky

1. Úvod

Pneumatiké pružiny jsou hojně používanými prvky vibroizolačních systémů. Jejich výhodou jsou nízké vlastní frekvence, které se výrazně nemění se změnou zatížení, malá zástavbová výška, jejich schopnost vyrovnat i nesouosost a vzájemný náklon čel a přenášet příčné síly a momenty. Pneumatiká pružina je prvkem odpružení sedačky řidiče autobusu. Zde bývá v nůžkovém mechanismu (v něm dochází k vyosení i vzájemnému náklonu čel pružiny), nebo v paralelogramu (kde zůstávají čela pružiny rovnoběžná, ale dochází k jejich vyosení). Naším cílem bylo stanovit příčnou charakteristiku pružiny.



Obr. 1. Experiment

2. Experiment

Experimenty byly prováděny na zatěžovacím zařízení na Obr.1, jehož popis je v článkách [1,2]. Dolní čelo pružiny je upevněno ve stavitelném rámu, který umožňuje kombinaci vyosení a náklonu čel pružiny. Na horním čele zatížená pružina byla měřena osová a příčná síla a moment v rovině symetrie. Počáteční hodnota pracovního tlaku v pružině byla nastavena při zástavbové výšce. Test probíhal při konstantní hmotnosti vzduchu v pružině.

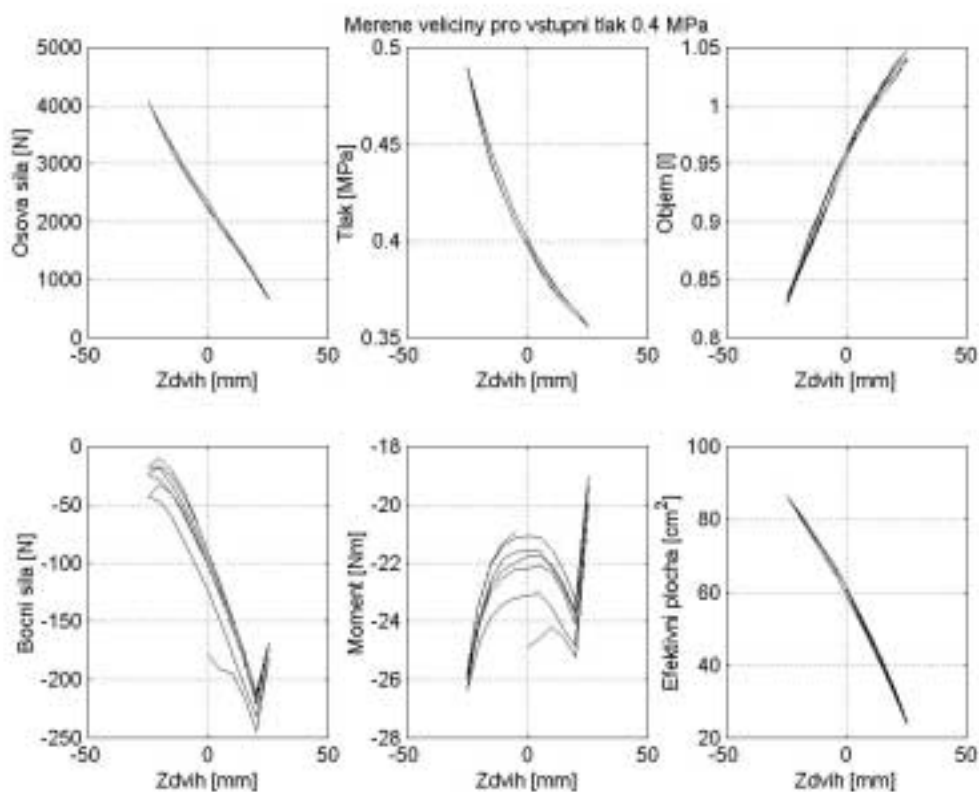
¹Doc. Ing. B. Marvalová, CSc, Mgr. J. Prokop, Katedra mechaniky, pružnosti a pevnosti, Technická universita v Liberci, Hálkova 6, 46117 Liberec, bohda.marvalova@vslib.cz, jan.prokop@vslib.cz

Pro každý ze vstupních tlaků bylo proměřeno 20 kombinací náklonu a vyosení. Během experimentu byl měněn zdvih pružiny po 5 mm a současně byly zaznamenávány hodnoty osově a příčné síly, momentu, přetlaku a objemu v pružině.

3. Výsledky

Typické naměřené průběhy sledovaných veličin pro vyosenou konfiguraci v rozmezí délky 110 – 160 mm (zástavbová výška 135 mm +/- zdvih 25 mm) jsou na Obr. 2. Osová síla a objem pružiny mají téměř lineární průběh v závislosti na zdvihu. Hodnoty bočních účinků vykazují větší rozdíly mezi zatěžovacím a odlehčovacím zdvihem. Vidíme zde prudký pokles příčné síly a momentu při délce pružiny 145 mm. Podobný zlom se v ostatních měřených veličinách neobjevuje. Veličinou odvozenou z experimentálně stanovených veličin je efektivní plocha – podíl osově síly a vnitřního přetlaku.

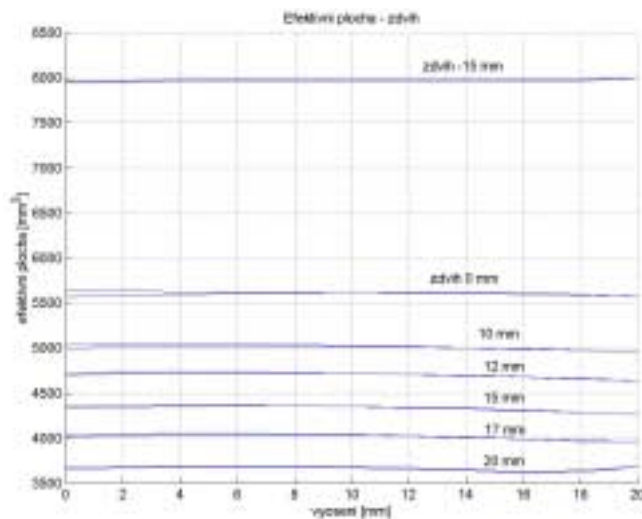
Naším cílem bylo stanovit, jakým způsobem ovlivňuje nesouosost a vzájemný náklon čel všechny tyto sledované veličiny.



Obr. 2 . Měřené veličiny

3.1. Efektivní plocha

Chování pružiny závisí na změnách efektivní plochy, tj. pomyslné plochy, kterou lze stanovit jako podíl změřené zatěžující síly a okamžitého vnitřního přetlaku. Experimenty potvrdily, že při souosém zatěžování pružiny nezávisí efektivní plocha na tlaku v pružině a je funkcí pouze délky pružiny h . Pružina zaujímá stejnou konfiguraci při různých tlacích.



Obr. 3. Efektivní plocha

Vyosení čel pružiny nemá vliv na průběh a velikost efektivní plochy, jak je patrné z grafu na Obr. 3, kde jsou efektivní plochy stanovené při konstantním vnitřním přetlaku $p_1=0,4$ MPa. Během experimentu se při konstantní délce pružiny měnilo vyosení s krokem 2 mm. Osová síla a tedy i efektivní plocha byla při příčném posuvu dolního čela konstantní pro všechny měřené zdvihy pružiny. Vliv natočení čel na efektivní plochu je rovněž zanedbatelný.

3.2. Objem v pružině

Z experimentů dále vyplývá, že objem v pružině rovněž nezávisí na nesouososti a natočení čel. Vše nasvědčuje tomu, že nezávisí ani na vnitřním tlaku a je pouze funkcí délky pružiny.

3.3. Osová tuhost pružiny

Vyjádříme-li osovou sílu jako součin vnitřního přetlaku a efektivní plochy

$$F = (p_1 - p_A) \cdot A,$$

pak tuhost pružiny lze získat derivací osově síly

$$K_S = -\frac{dF}{dh} = -\left(\frac{dp_1}{dh} \cdot A + (p_1 - p_A) \cdot \frac{dA}{dh}\right).$$

Ze stavové rovnice vyplývá

$$\frac{dp_1}{dh} = \frac{n \cdot p_0 \cdot V_0^n \cdot A}{V_1^{n+1}} \cdot \frac{dV_1}{dh}$$

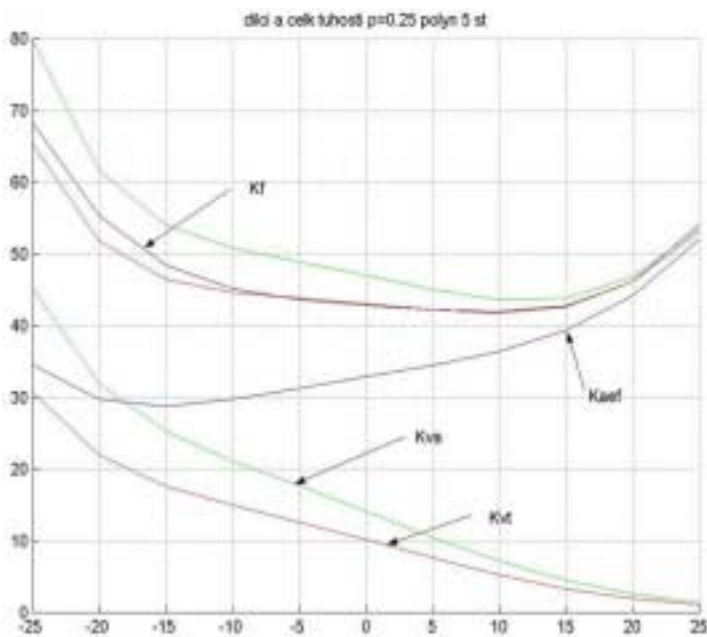
$$K_S = \frac{n \cdot p_0 \cdot V_0^n \cdot A}{V_1^{n+1}} \cdot \frac{dV_1}{dh} - (p_1 - p_A) \cdot \frac{dA}{dh}.$$

Položme

$$K_V = \frac{n \cdot p_0 \cdot V_0^n \cdot A}{V_1^{n+1}} \cdot \frac{dV_1}{dh} \quad \text{a} \quad K_A = -(p_1 - p_A) \cdot \frac{dA}{dh},$$

$$K_S = K_V + K_A$$

a tuhost pružiny v osovém směru může být vyjádřena jako součet dvou tuhostí K_V a K_A , z nichž první závisí na stlačované vzdušnině a druhá na změně efektivní plochy. Podíl těchto složek na celkové tuhosti a závislost osově tuhosti pružiny na zdvihu je

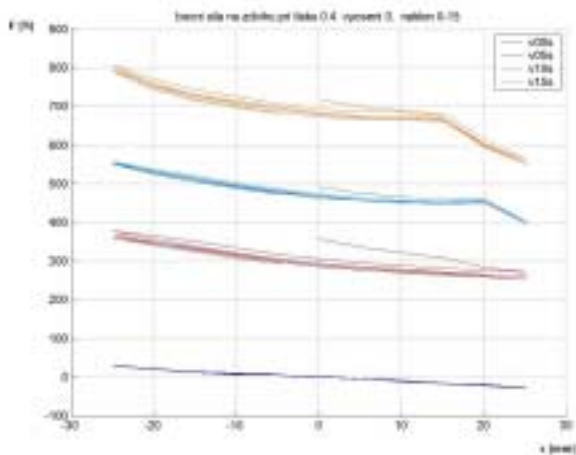


Obr. 4. Dílčí a celková tuhost [kN/m]

patrná z Obr. 4, kde křivka označená K_f je získaná derivací experimentálních hodnot osově síly, K_{va} a K_{vt} jsou adiabatická ($n=1,38$) a izotermická ($n=1$) složka tuhosti. Tuhost je v okolí zástavbové délky pružiny téměř konstantní. Ukazuje se, že v okolí zástavbové délky pružiny lze derivaci objemu ve vztahu pro tuhost K_v s dostatečnou přesností nahradit efektivní plochou A^* , která je podílem osově síly a absolutního tlaku p_I .

3.4. Příčná síla a moment

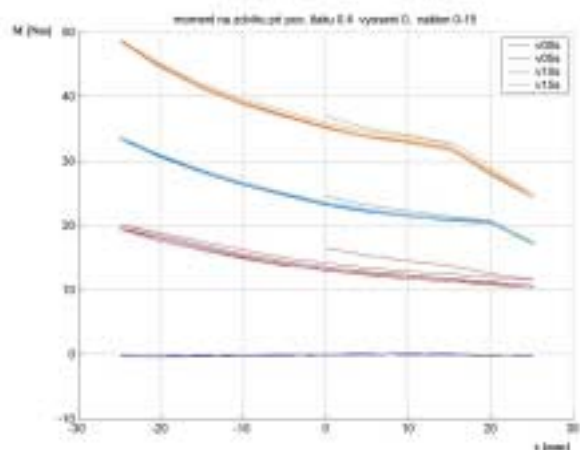
Při konstantním vyosení čel pružiny příčná síla klesá při stlačování pružiny a vzrůstá s rostoucí délkou pružiny, avšak při prodloužení pružiny přibližně o 10% její zástavbové délky se objevuje ostrý pokles příčné síly viz Obr. 2. Tento pokles se projevuje dříve při nižším pracovním tlaku. Příčná tuhost pružiny klesá při snižování tlaku v pružině a pružina může být při nízkých tlacích v příčném směru nestabilní. Vzájemné posunutí čel u stlačené pružiny může vyvolat ztrátu stability.



Obr.5. Příčná síla při náklonu čel

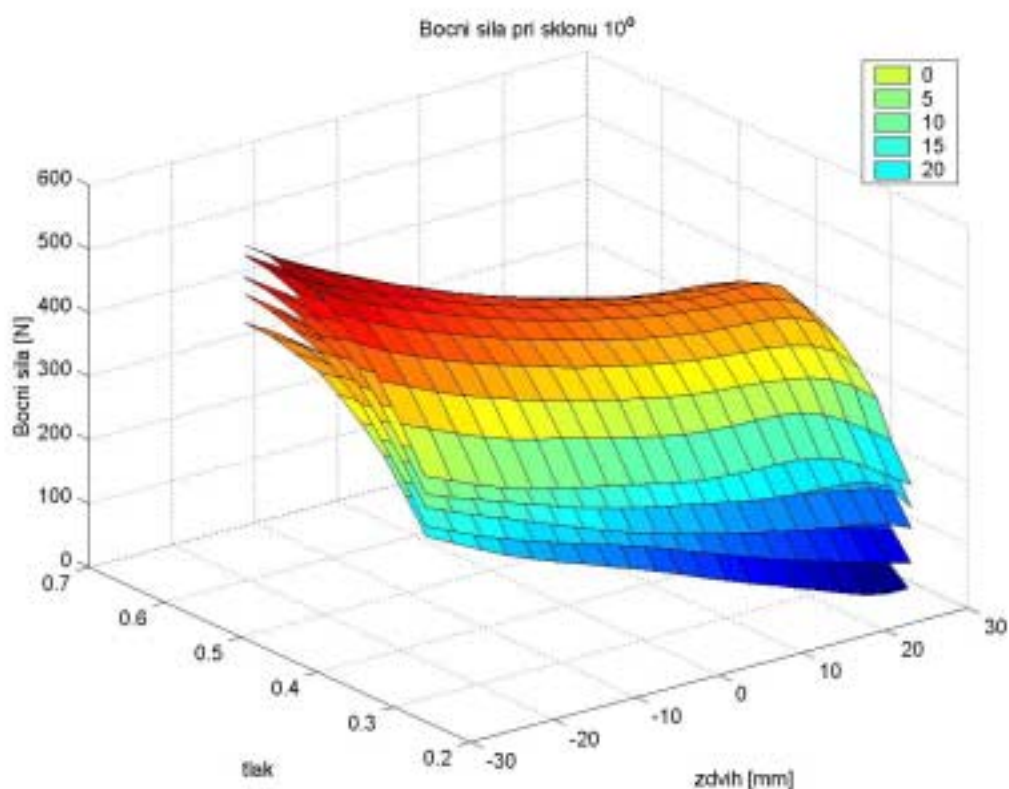
Při vzájemném náklonu čel pružiny je příčná síla naopak největší při stlačení pružiny a mírně klesá při jejím odlehčování, s ostrým poklesem při 10% prodloužení viz Obr. 5. Náklon čel pružiny vyvolává mnohem větší příčnou sílu, než vzájemné posunutí čel. Při maximálním naklonění čel o 15° dosahuje příčná síla až 25% velikosti osově síly, při největším vyosení čel o 20 mm je to jen kolem 10%.

Moment je opět poněkud vyšší při náklonu čel, než při jejich vzájemném posunutí, avšak rozdíly již nejsou tak výrazné jako u příčné síly. Moment je v obou případech největší při největším stlačení pružiny. Při náklonu čel pružiny moment při odlehčování stále mírně klesá, při vyosení čel je moment v okolí zástavbové výšky pružiny konstantní. V obou případech se opět projevuje prudký pokles momentu při 10% prodloužení pružiny jak je patrné z Obr. 2 a Obr. 6.



Obr. 6. Moment při náklonu čel

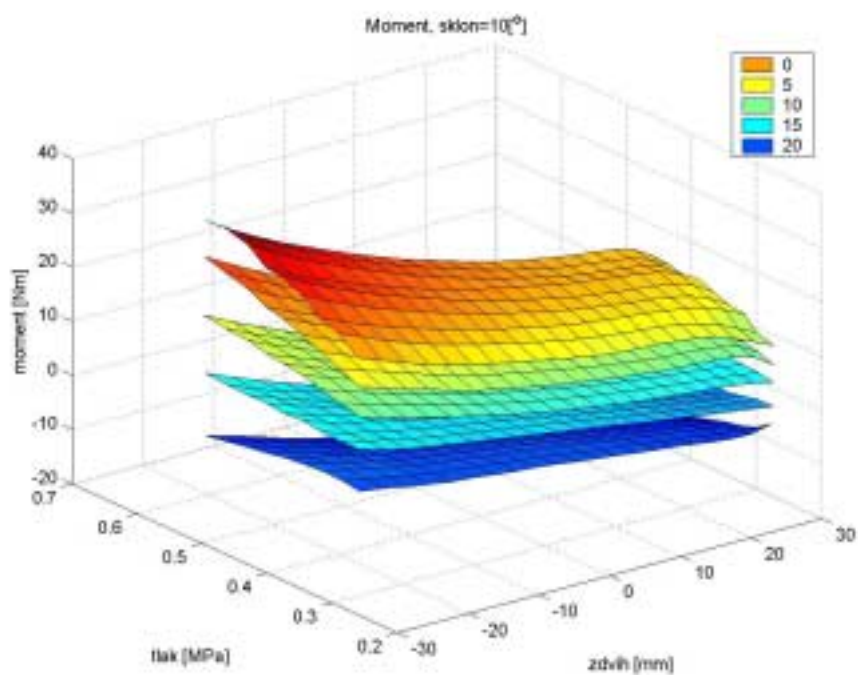
V našich konfiguracích je příčná síla i moment největší pro čisté natočení čel a s rostoucím vyosením čel klesají (vyosení kompenzuje natočení) a moment mění smysl. Grafy příčné síly se tedy seskupují přibližně do ekvidistantních ploch, zatímco plochy znázorňující momenty se vějířovitě rozevírají.



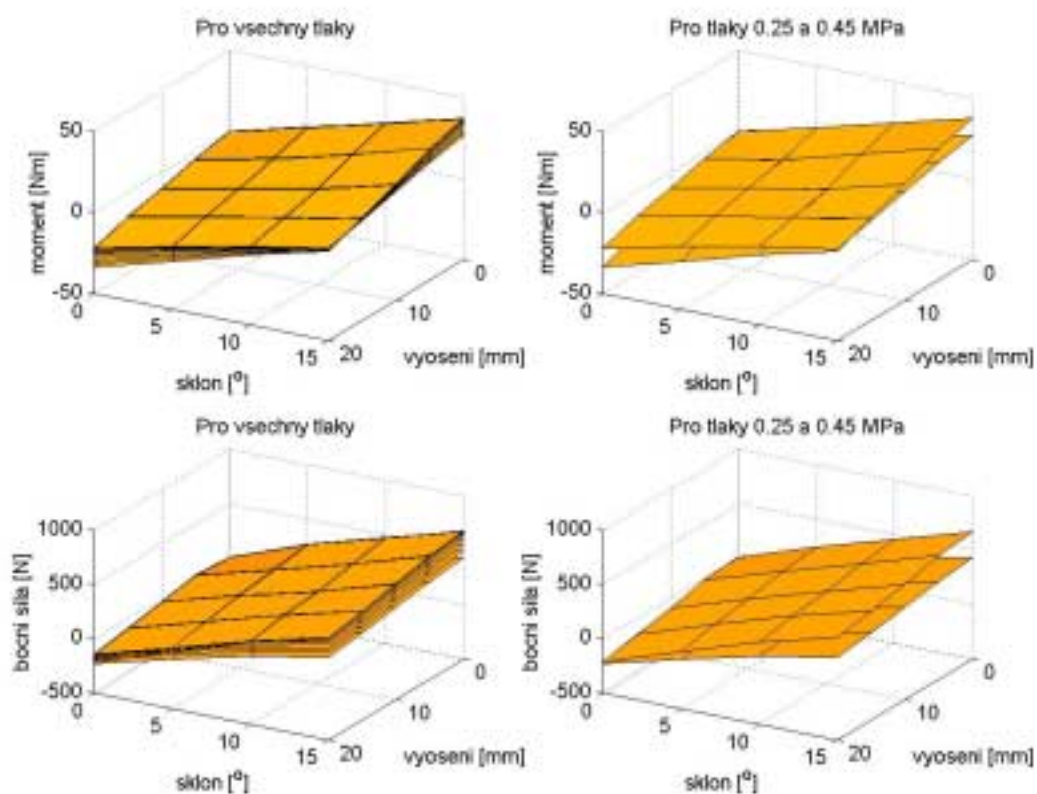
Obr. 7. Příčná síla v závislosti na tlaku a zdvihu při náklonu čel 10° při zvyšujícím se vyosení.

Při vzájemných kombinacích náklonu a vyosení čel pružiny měl na boční účinky převládající vliv náklon čel. Při určitých kombinacích se vlivy obou deformací vzájemně do značné míry kompenzovaly.

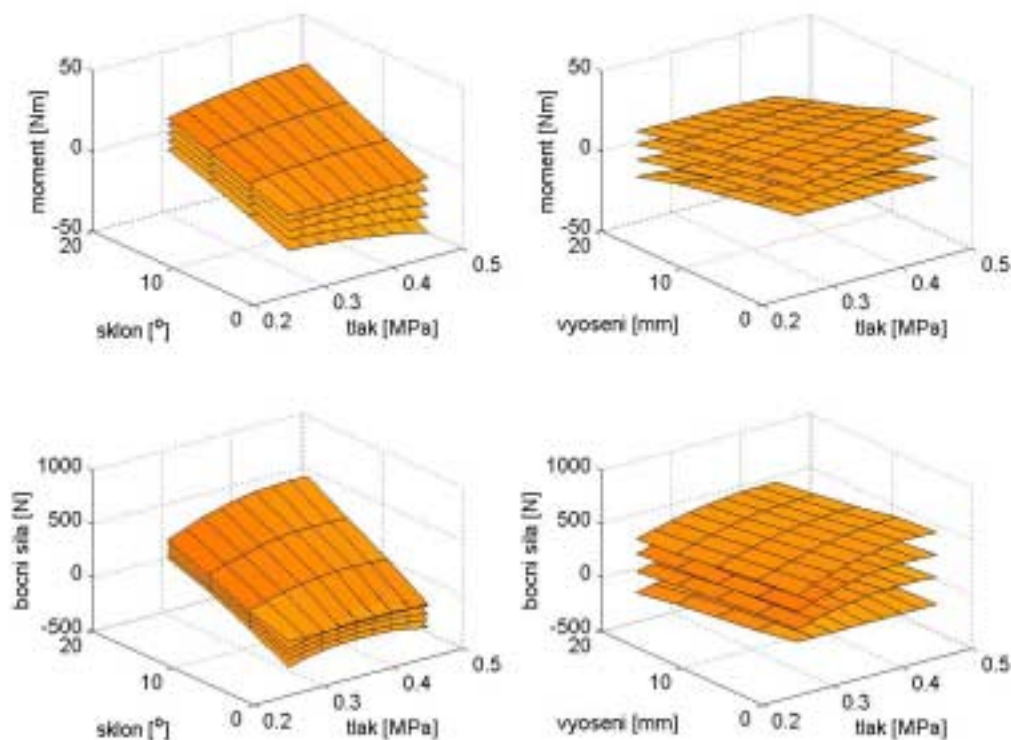
Vliv vyosení čel v rozmezí 0-20 mm na průběh příčné síly a momentu při konstantním náklonu čel 10° je patrný z 3-D grafů na Obr. 7 a 8, kde boční účinky jsou funkcí tlaku a délky pružiny.



Obr. 8. Moment v závislosti na tlaku a zdvihu při náklonu čel 10° při zvyšujícím se vyosení.



Obr. 9. Příčná síla a moment v zástavbové výšce pružiny v závislosti na sklonu čel a vyosení pro jednotlivé pracovní tlaky.



Obr. 10. Příčná síla a moment v zástavbové výšce pružiny v závislosti na tlaku a sklonu (vyosení) – vyosení (sklon) je parametr.

4. Závěr

Vlnovcová pružina jako součást vibroizolačního systému by měla pracovat v optimální geometrické konfiguraci, tzn. v pozici, kde má maximální příčnou tuhost a stabilitu. Dále by měla pružina pracovat v konfiguraci, ve které nedochází k opakovanému kontaktu pláště pružiny s čely, či s okolními objekty, ke vzájemnému tření částí pláště o sebe apod. Zahraniční výrobci pneumatických pružin přípustnou pracovní konfiguraci pružiny přísně vymezují. Naše experimenty ukazují, že v takové oblasti mají všechny měřené veličiny rozumný průběh, který lze aproximovat funkcemi omezeného počtu parametrů.

Tato práce vznikla v rámci výzkumného záměru MŠMT CEZ: MSM 2421 00003 Interakce vibroizolačního objektu s člověkem a okolním prostředím

5. Literatura

- [1] Prokop, J., Marvalová, B., Boční silové účinky při mimoosovém zatěžování vlnovcové pneumatické pružiny, Sb. konf. Apl. Mech. 2002, duben 2002, Ostrava
- [2] Šklíba, J., Loudová, J., On a next possibility of the accuracy of a driver seat model, Sborník EM 2000, Svatka, May 2000, p.121-126
- [3] Krettek, O. – Grajnert, J.: Zur Phänomenologie und Ersatzmodellbildung von Luftfedern. ZEV+DET Glas. Ann. 115 (1991) Nr.7/8 Juli/August
- [4] Quaglia, G. – Sorli, M.: Experimental and theoretical analysis of an air spring with auxiliary reservoir, Proc. of Fluocom 2000, Sherbrooke, August 2000