

PASSENGER'S SEAT DESIGN ACCORDINGLY TO FAR 23

M. Španiel*, D. Šimek†

Summary: *This report documents the first part of research supported by the grant of Ministry of Industry and Trade of Czech Republic. The holder of grant is Aeronautical Research and Test Institute, plc. (VZLÚ). The research topic is methodology of passenger seat design accordingly to the FAR 23 instruction. Objective of our work is dynamical simulation of horizontal and vertical impact (due to the rescue landing) influence onto both seat and passenger. Report contains basic assumptions about dedicated FE model for dynamic computations decreasing experimental works needs during design period.*

1 Úvod

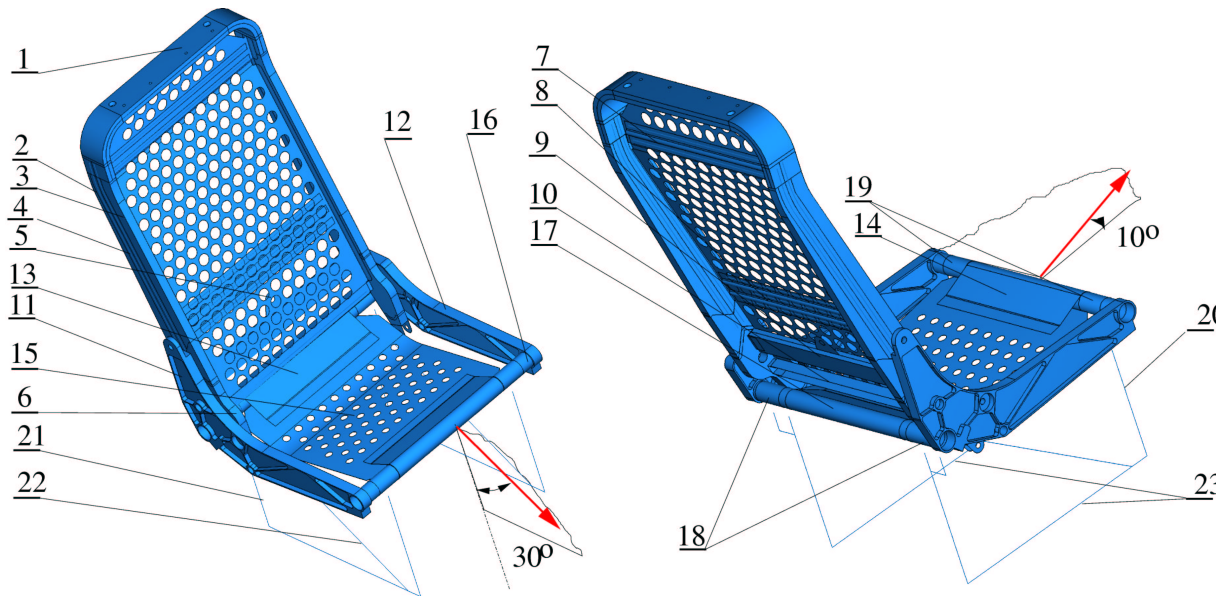
Příspěvek se zabývá návrhovým výpočtem sedačky pasažéra malého dopravního letounu podle předpisu FAR 23. Výpočet je součástí projektu konstrukce sedačky, který realizuje VZLÚ, a.s. za podpory grantu MPO. Spolunositel zodpovědným za numerické modelování a výpočty je FS ČVUT v Praze. FAR 23 vyžaduje kromě průkazu pevnosti také zaručené chování v netypických letových režimech. Sedačka vyhovující tomuto předpisu musí v případě nouzového přistání absorbovat část kinetické energie pasažéra tak, aby maximální síla v záchranných páslech a maximální svislá síla v páteři pasažéra nepřekročily stanovené hodnoty. Režim nouzového přistání je v předpisu definován zrychlením v průběhu krátkého časového intervalu. Podle směru zrychlení rozlišuje předpis dva případy – svislý a šikmý viz obr. 1.

Předpis FAR 23 vyžaduje experimentální průkaz splnění kritérií rázovou zkouškou s použitím testovací figuriny. Provádět takovéto testy v procesu konstruování je ale příliš drahé. Konstruování podle klasických návrhových modelů, které zohledňují pouze pevnost konstrukce by v případě FAR 23 bylo zjevně zavádějící. Proto je nezbytné vytvořit výpočtový model, který simuluje nouzové přistání dynamicky. Tento model by měl současně splňovat podmínky kladené na návrhové modely – flexibilitu (ve smyslu jednoduchého zavádění konstrukčních úprav) a přiměřenou (ne)náročnost na výpočtové zdroje.

Vlastním obsahem příspěvku je popis celkové koncepce modelu, modelování některých detailů sedačky, zejména deformačního členu pro absorpci energie. V době uzávěrky příspěvku nebyl ještě proveden kompletní dynamický výpočet. Ten bude proveden v průběhu měsíce dubna 2003.

*Ing. Miroslav Španiel, CSc., FS ČVUT v Praze, Technická 4, 166 07 Praha 6; tel. +420 2 2435 2561, e-mail: spaniel@lin.fsid.cvut.cz

†Ing. David Šimek, FS ČVUT v Praze, Technická 4, 166 07 Praha 6; tel. +420 2 2435 2561, e-mail: simek@fsid.cvut.cz



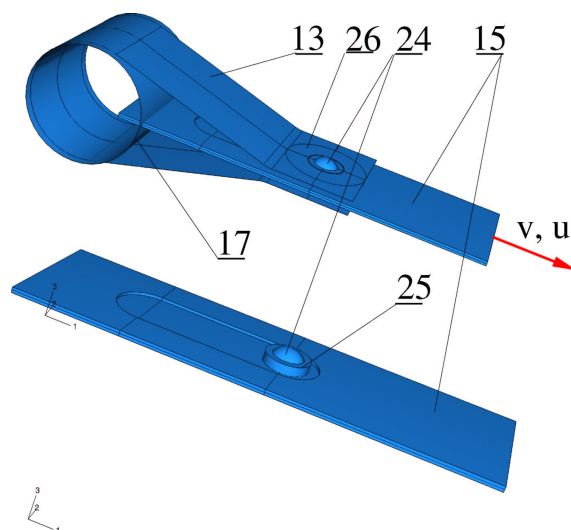
Obrázek 1: Schéma sedačky.

2 Konstrukce a funkce sedačky

Konstrukce sedačky byla navržena ve VZLÚ – řešitelem projektu. Sedačka se skládá z opěráku (pozice 1–10 v obr.1), sedáku (pozice 11–15), a nohou (pozice 16–23). Opěrák je tvořen rámem snýtovaným z částí ohnutých převážně z duralových (1–4) plechů nebo oceli (6), výplně (5) s výztuhami (7–10). Na trámu (9) je zavěšen naviják záchranného pásu. Sedák sestává z pravé (11) a levé (12) bočnice (odlitky) spojených trubkovými nosníky (16,17) a duralového sedacího plechu (15), který je zavěšen ve speciálních objímkách. Toto zavěšení je navrženo jako deformační člen a je podrobně popsáno níže. Nohy sedačky tvoří trubky (pozice 20–23) propojené pomocí kování (pozice 18,19). Ty jsou uloženy v podélných nosnících, které procházejí trupem letounu.

2.1 Deformační člen

Při nouzovém přistání je úkolem sedačky tlumit ráz působící na pasažéra. V případě dopředného zrychlení se na tlumení podílí bezpečnostní pásy. Větším problémem je z tohoto hlediska svislý ráz. Tlumení svislé složky rázu zajišťuje speciálně zkonstruovaný sedací plech (pozice 15 v obr.1). Na obr. 2 je detail zavěšení sedacího plechu (15) mezi nosníky (16, 17) pomocí objímek (13, 14). V sedacím plechu jsou vyfrézovány vodící drážky. Otvorem ve vodící drážce prochází válcová vložka (25) pronýtaná s horní a dolní stranou objímky. Mezi objímkou a sedacím plechem jsou na obou stranách navlečeny polyetylenové podložky (26). Při nárazu vyvolá pasažér v sedacím plechu tak velkou tahovou sílu, že dojde k proříznutí předfrézovaných drážek v sedacím plechu a tím ke zmaření části energie.



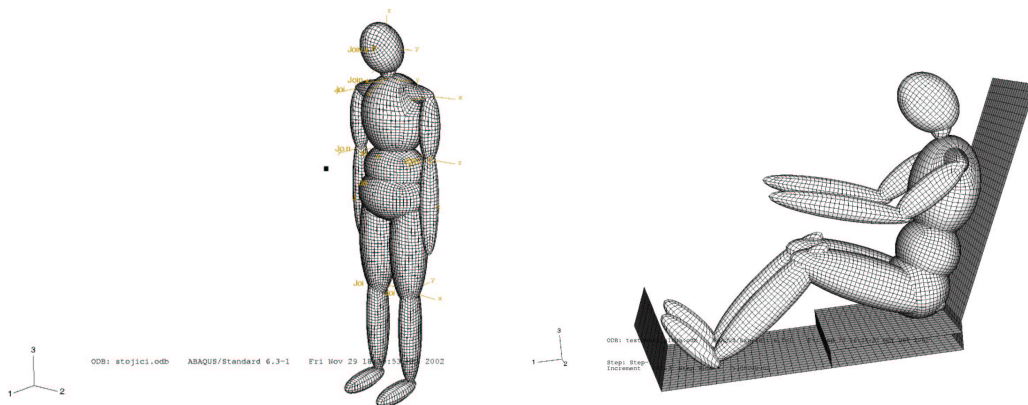
Obrázek 2: Detail uchycení sedacího plechu / model zkušební vzorku.

3 MKP modely

Tvorba modelů i výpočty jsou prováděny programem ABAQUS firmy Abaqus, Inc. (dříve HKS). Vzhledem k nutnosti zahrnout do modelu tlumící účinek v uložení sedacího plechu byla zvolena koncepce dvojúrovňového modelování. Vlastnosti zavěšení sedacího plechu byly zkoumány experimentálně na vzorcích s jedním zářezem analogických obrázku 2. Tyto vzorky jsou velmi podrobně modelovány MKP jako soustava 3D těles. Uvedený model druhé úrovně slouží jednak ke kalibraci materiálových parametrů, jednak pro hledání vhodných rozměrů (např. hloubky drážky) v zavěšení sedacího plechu.

Globální model sedačky je koncipován jako systém několika těles (včetně modelu figuriny) propojených navzájem vhodnými vazbami. Nohy sedačky (pozice 20–23) jsou modelovány jako jednorozměrné nosníky, bočnice (11, 12) jsou 3D a mohou být modelovány jako poddajné i jako dokonale tuhé. Propojovací členy, např. kování (18, 19), ložiska zavěšení opěráku a některé další detaily, jsou modelovány jako dokonale tuhá tělesa s hmotou. Záchranné pásy jsou modelovány jako 1D kontinuum (bez ohybové tuhosti), navíc speciální vazbovou podmínkou se zablokováním při dosažení kritické relativní rychlosti pásu. Ostatní části modelu jsou 2D skořepiny. Zavěšení sedacího plechu v globálním modelu je modelováno s pomocí speciálních elementů typu *connector*, které spojují vybrané uzly s možností definovat kinematická omezení vazbové podmínky i její konstitutivní vlastnosti – elasticitu, tlumení a tření. Konstitutivní vlastnosti musí být kalibrovány podle modelu z obrázku 2 a experimentů. Na obrázku 1 je geometrie globálního MKP modelu, MKP síť není v době uzávěrky dokončena.

Vzhledem k tomu, že FAR 23 nevyžaduje detailní popis účinků na jednotlivé orgány pasažéra, byla s ohledem na nižší nároky při modelování (ale zejména při vlastní analýze) zvolena koncepce, která vychází z figuríny typu HYBRID II. Ta je modelována jako soustava dokonale tuhých těles. Z hlediska klasické mechaniky jde o otevřený kinematický řetězec. Soustava je plně popsána jednotlivými tělesy a jejich kinematickými vazbami. Tělesa mají tvar elipsoidu a nesou informace o relativní poloze těžiště a vazbových bodů, hmotě a momentech setrvačnosti. Všechny vazby soustavy umožňují sférický vzájemný pohyb.

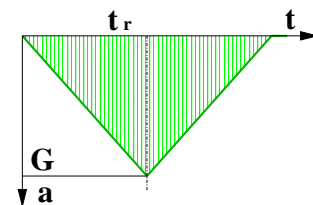


Obrázek 3: Model figuríny ve stoje(vlevo) a v testovací úloze (vpravo).

Vazby spojující hlavu, krk a trup jsou popsány ohybově–torzními úhly (flexion–torsion). Všechny ostatní vazby jsou popsány Kardanovými úhly. Ve všech (rotačních stupních volnosti) jsou definovány tuhost, tlumení a rozsah pohyblivosti. Vzhledem k tomu, že přímo nesousedící části modelu figuríny mohou přijít do vzájemného kontaktu, je nutné ošetřit i tuto eventualitu tak, aby se tato tělesa nemohla vnořit jedno do druhého. Na modelu figuríny jsou tedy definovány kontaktní páry mezi vybranými tělesy. Samozřejmě je nutné připravit model figuríny pro zabudování do modelu celé sedačky. Pro snadnější manipulaci s modelem figuríny byl naprogramován v *Perlu* jednoduchý generátor umožňující vytvořit model figuríny v zadané poloze.

Sedačka s pasažérem je zatížena zrychlením, které je přivedeno do uchycení nohou. Předpis FAR 23 definuje dva případy experimentální simulace nouzového přistání označené jako *test 1* a *test 2*. Vzhledem k rázovému charakteru modelovaného dynamického děje

Parametr	Jednotky	Případ test 1	Případ test 2
Rychlost	v_i [ms^{-1}]	min. 9,45	min. 12,80
Interval	t_r [s]	max. 0,06	max.0,06
Zrychlení	G [$9,81 \times \text{ms}^{-2}$]	min. 15	min. 21

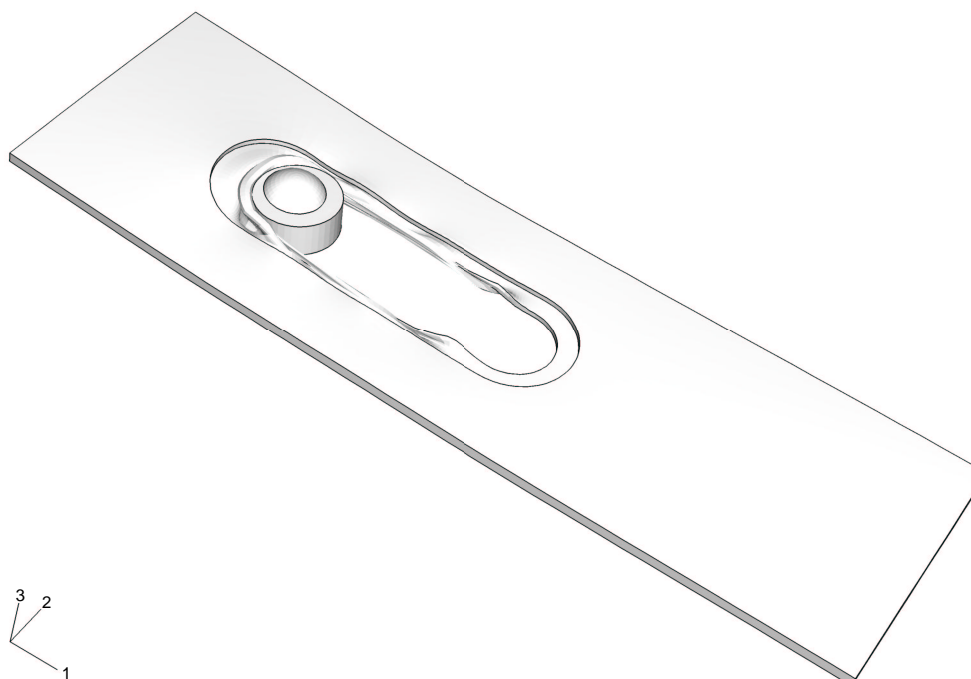


Tabulka 1: Požadované parametry dle FAR 23. Zatížení v pásech nesmí přesáhnout 8898 N, síla mezi pánví a páteří musí být menší než 6671 N

bude použita explicitní integrace pohybových rovnic.

4 Kalibrační výpočty zavěšení sedacího plechu.

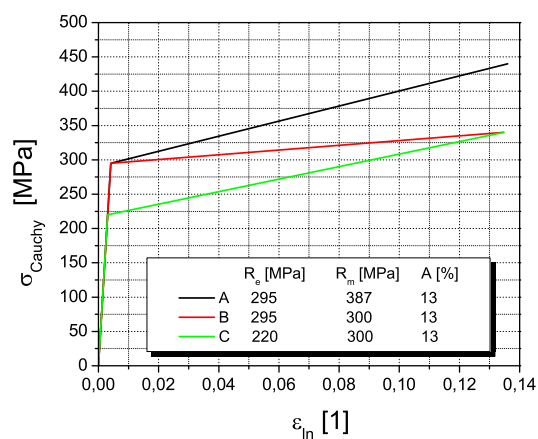
Funkce zavěšení sedacího plechu je popsána výše. Tato kapitola se zabývá kalibrací materiálových parametrů při modelování „prořezávání“ závěsu předfrézovanými drážkami. Byly provedeny kvázistatické experimenty na třech vzorcích, které odpovídají schématu na obr. 2. Tyto experimenty slouží jako východisko při ladění materiálových parametrů pou-



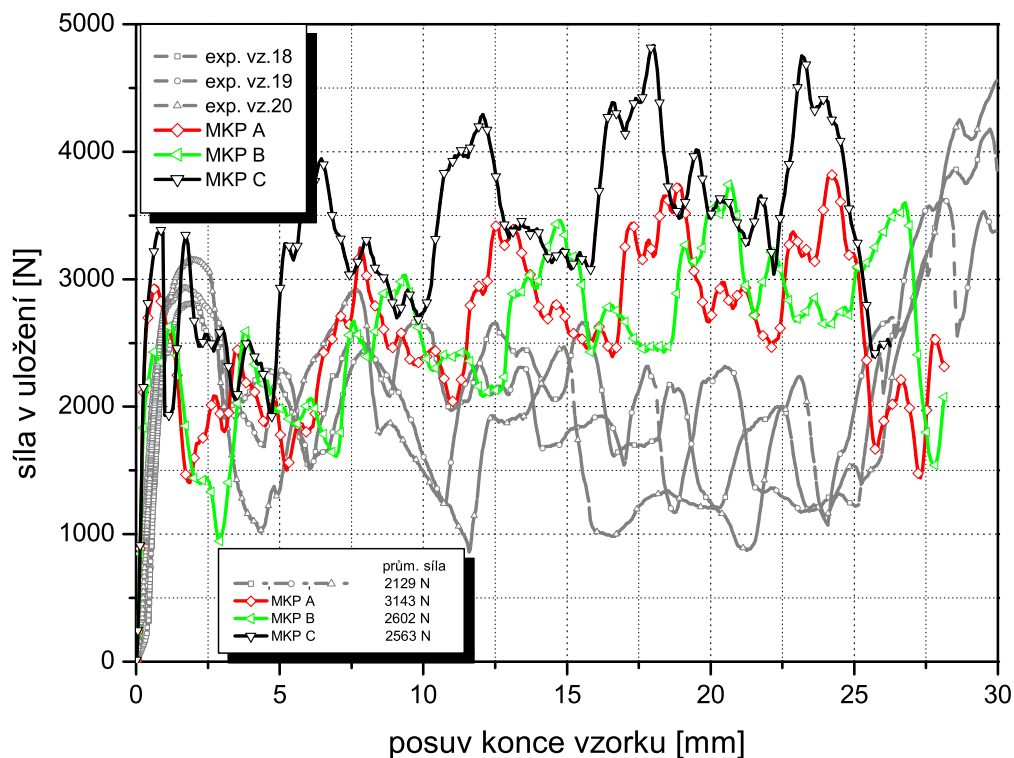
Obrázek 4: Deformovaný stav modelu pásku s drážkou (sedacího plechu) po výpočtu MKP.

žitých v MKP modelu. Jako materiálový model sedacího plechu (pásku testované sestavy) je využit klasický plastický materiál splňující asociativní zákon plastického tečení. Materiál je isotropní a využívá Misesovu podmínku plasticity. Proříznutí umožňuje jednoduchá lomová („failure“) funkce aplikovaná na úrovni integračních bodů a elementů. Dosáhne-li první invariant tenzoru napjatosti v integračním bodě mezní hodnoty $p = \text{tr}(\sigma) = p_c$, jsou všechna napětí v tomto bodě trvale vynulována. Jsou-li všechny integrační body v elementu vynulovány, je element trvale odstraněn ze sítě. První simulace ukázaly, že ze všech dostupných lomových funkcí (viz [3], [4]) je právě tato varianta nejvhodnější.

Vzhledem k nedostatku přesných materiálových podkladů byla tahová křivka duralu, ze kterého je vyroben sedací plech, nahrazena lomenou čarou o dvou větvích. Definičními parametry jsou modul pružnosti $E = 72000$ MPa, Poissonovo číslo $\mu = 0,38$, které se při kalibraci nemění a smluvní mez kluzu R_e , smluvní mez pevnosti R_m a tažnost A , které podléhají změnám. Výpočtové materiálové křivky a hodnoty pro tři provedené kalibrační výpočty jsou v obrázku 5. Hodnota p_c je vždy volena jako Cauchyho napětí odpovídající mezi pevnosti. Z uvedených parametrů se hodnota meze pevnosti od začátku jeví pro proces prořezávání nejvýznamnější. Na obr. 6 jsou vyneseny vypočtené a naměřené síly v závislosti na posuvu přední stěny vzorku. V tabulce jsou také uvedeny hodnoty kalibračního kritéria – průměrné síly při experimentálním modelování a pro jednotlivé



Obrázek 5: Materiálové křivky použité v kalibračních úlohách.



Obrázek 6: Závislosti síla–posuv v experimentálních a numerických modelech.

numericky řešené případy. Tyto průměrné síly byly získány na základě ekvivalentní práce

$$\tilde{F} = \frac{\int_0^{\Delta u} F(u) du}{\Delta u},$$

kde $F(u)$ je aktuální síla v příčniku trhacího stroje (experiment) nebo reakce v uložení (výpočet) při posuvu u . Δu nabývá hodnoty maximálního posuvu. Vzhledem k tomu, že experiment probíhal kvázistaticky, zatímco simulace MKP byla dynamická (s explicitní integrací pohybových rovnic), bude ještě třeba opravit hodnotu v čitateli o kinetickou energii a práci zmařenou umělým výpočtovým tlumením. Přesto výsledky naznačují podstatně větší citlivost na mez pevnosti, než na mez kluzu.

5 Závěry

Předložený příspěvek představuje průběžnou zprávu o řešení náročné simulační úlohy – sedačky pasažéra malého dopravního letounu při nouzovém přistání dle předpisu FAR 23. Je v něm popsána koncepce dynamického návrhového MKP modelu a předloženy výsledky dvou dílčích úloh řešených v přípravné fázi – kalibrace podrobného modelu (druhé úrovně) sedacího plechu (členu, který prostřednictvím řízené destrukce absorbuje část energie nárazu) a sestavení a verifikace zjednodušeného modelu testovací figuríny, která jednak zatěžuje vlastní sedačku a jednak modeluje sílu mezi pánví a páteří limitovanou předpisem FAR 23. Dokončení modelu a první výpočty jsou požadovány do konce dubna 2003, v květnu proběhne rázová zkouška na prototypu, která bude podkladem pro další zpřesnění modelu. Tento zpřesněný model bude využit při návrhu konstrukčních úprav a dokončení vývoje sedačky, který poskytne metodiku při aplikaci předpisu FAR 23.

6 Poděkování

Tato práce vznikla s laskavou podporou grantu MPO ČR č. **FD-K/053**.

Literatura

- [1] M. Španiel, D. Šimek. Dynamický výpočet sedačky cestujícího malého dopravního letadla. *Technická zpráva 205/02/26 FS ČVUT v Praze*. ČVUT, 2002.
- [2] Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc. *Abaqus/CAE. User's Manual*. Version 2.
- [3] Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc. *Abaqus/Explicit. User's Manual. Volume I*. Version 6.2.
- [4] Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc. *Abaqus/Explicit. User's Manual. Volume II*. Version 6.2.