

Analýza kompozitové konzole pro leteckou konstrukci

MATUŠŮ Martin¹, PADOVEC Zdeněk¹, ZÁMEČNÍKOVÁ Tereza¹, SEDLÁČEK Radek¹

¹ ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky; Technická 4, 16000 Praha, Česká Republika

Abstrakt

V leteckých konstrukcích se s výhodou využívá lehkých materiálů, ke kterým patří titan, kompozity, či hliníkové slitiny jako například dural. Hlavním rozdílem oproti homogennímu materiálu, který je nahrazen kompozitovým, je složitost výpočtu pevnosti a tuhosti daného dílu. Kompozitové materiály mají obecně vyšší potenciál, ale v důsledku složitějších výpočtů a komplexnější znalosti o zatížení je jejich aplikace pracnější.

Daná součást spojuje kýlový nosník s žebry pomocí předejpatých šroubů. Konzole z kompozitu nahrazuje titanovou variantu hlavně z důvodu snížení ceny a hmotnosti.

Nabízejí se dvě varianty, a to jedna se shodným profilem a druhá s rozdílným. Oba profily jsou z C/PPS, tedy z kompozitu s uhlíkovými vlákny a polyfenylsulfidovou maticí. Všechny výpočty byly realizovány v softwaru Abaqus.

Klíčová slova: MKP analýza, kompozitová konstrukce, letecké konstrukce

Úvod

Cílem této práce je nahradit homogenní součást z titanu, kompozitovou konstrukcí, která musí vyhovovat ve všech bodech stejně jako původní homogenní součást. Výpočty pevnosti a tuhosti jsou provedeny pomocí *Metody konečných prvků*.

Důvodem náhrady kromě nízké hmotnosti je i cena. Titan sám o sobě je drahý kov, který je špatně obrábitelný vznikají při něm větší řezné síly než při obrábění klasických ocelí. Součást, která je nahrazována je obráběna z jednoho kusu titanu a kompozitový profil se zdá být levnějším řešením, které by původní variantu mělo zcela nahradit v celé šíři konstrukce.

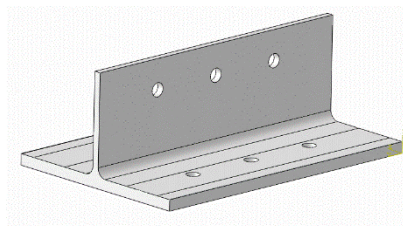
Využitím kompozitových tkanin využíváme možnosti kompozitů naplno. Součástí práce není pouze slepý návrh stejné součásti z jiného materiálu (*black metal design*), ale i úprava konstrukce pro lepší využití kompozitních materiálů a využití kompozitních materiálů v jejich plném potenciálu.

1. Popis variant

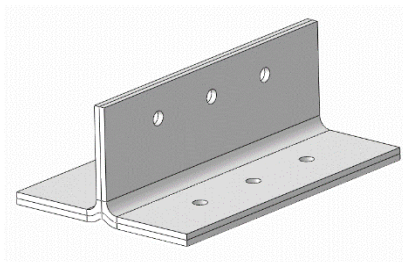
Jedná se o dva kompozitní profily pro leteckou konstrukci z C/PPS 5H satin [1] (uhlíkem vyztužená polyfenylsulfidová matrice s atlasovou vazbou). První konzole je nazývána C/PPS1 a druhá konzole C/PPS2. Tato součást se využívá pro spojení kýlového nosníku a žebrování v trupu letecké konstrukce.

Nejprve byla provedena tuhostní analýza jednotlivých profilů ve všech směrech včetně původní titanové varianty pro porovnání tuhostí jednotlivých dílů.

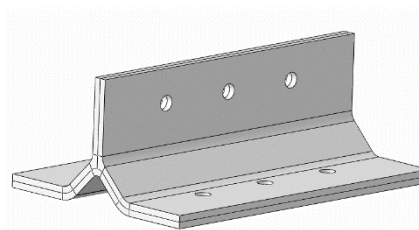
Následně byla provedena simulace reálného zatížení součásti a vyhodnocení celého výpočtu.



Obr. 1 Titanová konzole



Obr. 2 C/PPS1



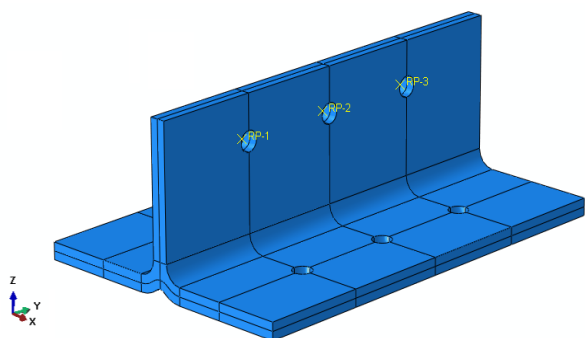
Obr. 3 C/PPS2

Na obr. 1 až obr. 3 lze vidět, že hlavním rozdílem v těchto profilech je spojovací úsek mezi kolmým pásem profilu (stojina) a plochými částmi (pásnice) konzole.

* Kontakt na autora: Martin.Matusu@fs.cvut.cz, Zdenek.Padovec@fs.cvut.cz, Tereza.Zamecnikova@fs.cvut.cz, Radek.Sedlacek@fs.cvut.cz

2. Tuhostní analýza

Tuhostní analýza spočívá v zatížení jednotlivých profilů jednotkovou silou v místech (na obrázku body RP-1, RP-2 a RP-3), kde bude přenášena síla do konstrukce. Tato metoda nám umožní zjistit místa, kde můžeme čekat největší napětí a který z profilů je uzpůsoben nejlépe pro daný typ zatížení. Analýza byla provedena v softwaru *Abaqus* a profil byl dle směšovacího pravidla homogenizován a výpočet proveden pomocí klasické laminační teorie [2]. Profil byl umístěn nejprve na poddajnou kompozitovou desku, taktéž homogenizovanou, a následně pak na desku dokonale tuhou.



Obr. 4 Znáznornění souřadnicového systému a referenčních bodů RP-1 až RP-3

Tab. 1 Posuv jednotlivých profilů na poddajné desce

Jedničky (poddajná)	x(Umag) [mm] · 10 ⁻³	y(Umag) [mm] · 10 ⁻³	z(Umag) [mm] · 10 ⁻³
Titan	1,563	0,157	0,175
C/PPS1	1,267	0,238	0,231
C/PPS2	0,638	0,194	0,168

Tab. 2 Posuv jednotlivých profilů na rigid desce

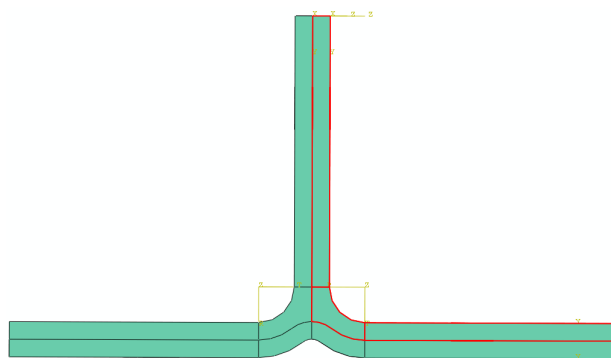
Jedničky (rigid)	x(Umag) [mm] · 10 ⁻³	y(Umag) [mm] · 10 ⁻³	z(Umag) [mm] · 10 ⁻³
Titan	1,490	0,0315	0,0170
C/PPS1	1,170	0,1110	0,0655
C/PPS2	0,543	0,0747	0,0251

Z výpočtu vyplývá, že varianta C/PPS2 odolává zatížení jednotkovou silou na poddajné i dokonale tuhé desce z variant pro nahrazení titanové verze nejlépe. V případě rozdílu posuvu ve směru z, ve kterém je reálné zatížení největší, odolávají na poddajné desce oba profily. Na dokonale tuhé desce se projevuje posuv výrazněji více u varianty C/PPS1.

3. Reálné zatížení

Zatížení modelu reálnými silami je shodně vedeno do bodů RP-1 až RP-3 ve stejném souřadnicovém systému. Modely C/PPS1 a C/PPS2 jsou modelovány s ohledem na kompozitní konstrukci pomocí vrstveného modelu. Vrstvený model byl modelován s prvky *Continuum shell* prvky. Následně porovnáno s titanovou variantou, a to z hlediska posuvů.

Vrstvení je provedeno z hlediska možnosti konstrukce daných profilu, a to ve třech laminátových deskách. Jednotlivé lamináty jsou tvořeny dle složení $[(0,90)/(\pm 45)]_2$, tedy 8 vrstev s tloušťkou 0,31 mm [1].



Obr. 5 Zobrazení jednoho laminátu zvýrazněně červeně

Tab. 3 Posuv jednotlivých profilů oproti Titanové variantě

	Titan	C/PPS1	C/PPS2
Maximální posuv poddajná [mm]	0,713	0,830	0,579
Maximální posuv tuhá [mm]	0,422	0,418	0,159

Z výše uvedené tabulky je jasně vidět, jak velký vliv má poddajná deska na celý výpočet. Při použití dokonale tuhé desky lze vidět, že varianta C/PPS1 vychází s malým rozdílem shodně s titanovou variantou (rozdíl cca. 1% pro C/PPS1) na poddajné desce je rozdíl v posuvu 14% pro C/PPS1 ve prospěch titanové varianty.

Varianta C/PPS2 vychází lépe než titanová varianta na dokonale tuhé desce pro C/PPS2 je posuv pouze třetinový vůči titanové variantě. Na poddajné desce vychází varianta C/PPS2 něco lépe nežli varianta titanová o cca 19%.

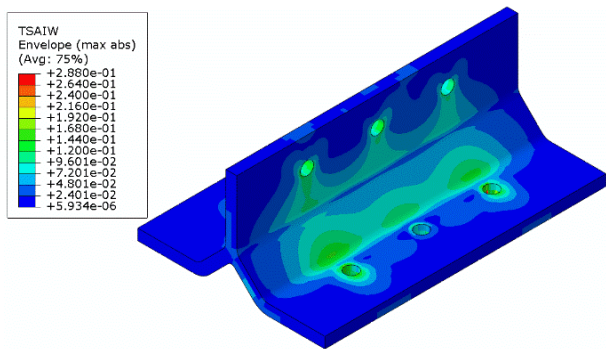
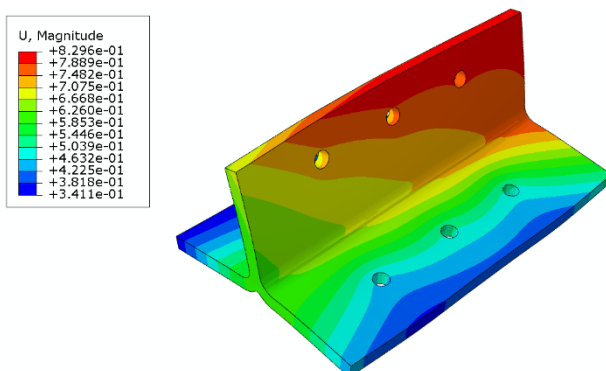
C/PPS2 se zdá být odolnější, ale C/PPS1 se výrazně neodchyluje od titanové verze na dokonale tuhé desce, a tudíž úlohu splňuje také.

Z hlediska bezpečnosti vyhovují všechny varianty jak C/PPS1 tak C/PPS2 kde $k > 1$ znamená, že daná konstrukce je bezpečná:

Tab. 4 Tabulka bezpečností dle jednotlivých pevnostních kritérií

Bezpečnost k [-]	Tsai-Hill	Tsai-Wu	Max-Stress	Azzi-Tsai-Hill
C/PPS1 poddajná deska	2,63	3,04	3,18	3,24
C/PPS1 rigid deska	2,20	2,29	2,30	2,33
C/PPS2 poddajná deska	2,79	3,47	4,24	4,43
C/PPS2 rigid deska	3,19	3,92	3,99	4,06

Hodnota k je převrácená hodnota vůči výsledku z *Abaqusu* [3]. Vzhledem k tomu, že všechny profily mají hodnotu k větší, než jedna tak vyhovují všechny danému zatížení.


Obr. 6 Rozložení napětí na C/PPS2 s bezpečností dle Tsai-Wu kritéria na poddajné desce

Obr. 7 Posuv C/PPS1 na poddajné desce

4. Srovnání hmotností jednotlivých variant

Výpočet hustoty plyne ze směšovacího pravidla [2] pro kompozity. Hustota titanu byla brána jako tabulková hodnota. Výpočet hmotnosti byl proveden v softwaru *Abaqus*.

Tab. 5 Srovnání jednotlivých veličin objem, hustota, hmotnost

	Objem [cm ³]	Hustota [$\frac{kg}{m^3}$]	Hmotnost [kg]
Titanový profil	68,35	4506	0,308
C/PPS1 profil	79,682	1613	0,129
C/PPS2 profil	79,659	1613	0,127

Nejlehčí je tedy varianta C/PPS2. Ušetření hmotnosti v obou případech použití kompozitu je značné - tedy necelých 60% ušetření celkové hmotnosti členu (pro C/PPS1 58% pro C/PPS2 59%) od titanové varianty. Předpoklad je takový že těchto součástí bude v konstrukci více tudíž se jedná o poměrně značné snížení hmotnosti celé konstrukce.

5. Závěr

V jednotkové analýze bylo prokázáno, že daná náhrada konstrukce je konstruktivním řešením. Profily C/PPS1 a C/PPS2 vyhovují náhradě titanové varianty z hlediska výpočtů. Ostatní výsledky nám dá experiment, který je pro C/PPS1 v plánu v první polovině roku 2019 a pro C/PPS2 v druhé polovině téhož roku.

Poděkování

Tato práce byla podpořena projektem FV30033 Ministerstvem průmyslu a obchodu České republiky a Grantovou agenturou ČVUT v Praze pod grantem No. SGS18/175/OHK2/3T/12.

Literatura

- [1] AEROSPACE COMPOSITES Datasheet TenCate Cetex® PPS: Product type: PPS Thermoplastic Resin System (Polyphenylene Sulfide). *Aircraft interiors expo* [online]. [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: https://www.aircraftinteriorsexpo.com/_novadocuments/8392?v=634671502121130000
- [2] LAŠ, Vladislav. *Mechanika kompozitních materiálů*. 2. přeprac. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008. ISBN 978-80-7043-689-9
- [3] ABAQUS Analysis User's Manual: Plane stress orthotropic failure measures. *ABAQUS Online Documentation: Version 6.6-1* [online]. Providence, USA: Simulia, 2006 [cit. 2019-02-05]. Dostupné z: <https://classes.engineering.wustl.edu/2009/spring/mase5513/abaqus/docs/v6.6/blooks/usb/default.htm?startat=pt05ch17s02abm04.html>