

Aplikace pevnostních kritérií pro kompozitní materiály na případu letecké vzpěry

Bc. Václav Vomáčko <vaclav.vomacko@tul.cz>, doc. Ing. Petr Šidlof, Ph.D.

Cílem práce je ověření pevnosti letecké vzpěry z uhlíkového laminátu, čehož je docíleno v několika krocích. Pro tři typy uhlíkového laminátu jsou provedeny zkoušky tahem, tlakem a ohybem. Je vytvořena simulace ohybové zkoušky, která je na základě naměřených dat validována a jsou porovnány indexy porušení pěti pevnostních kritérií. Následuje výroba fyzického modelu ocasních ploch a jsou provedeny dva typy experimentů, jimž předchází konečněprvková simulace pro predikci mechanismu porušení a odhadu zatížení, při kterém dojde k porušení.

Klíčová slova: kompozitní materiál, uhlíková vlákna, pevnostní kritérium, MKP, Ansys

Úvod

Použití dlouhovlákných kompozitních materiálů pro strukturální součásti je výhodné díky vysokému poměru mechanických vlastností a hmotnosti. Toho bylo využito při konstrukci ocasních ploch elektroletadla Alice na oddělení Výpočtů a modelování ve VÚTS, a.s.. Pro pevnostní návrh ocasních ploch byly využívány numerické simulace, kde mezi sledované parametry výsledků patřila konstrukční bezpečnost.



Obrázek 1: Elektroletadlo Alice společnosti Eviation.

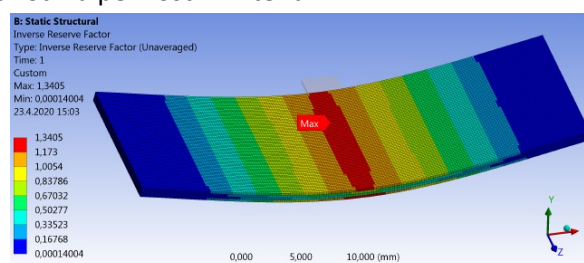
V případě ortotropních materiálů jako jsou dlouhovlákné kompozity je třeba vyhodnocovat bezpečnost pro každý směr ortotropie a typ zatížení zvláště, což je krajně náročnou a přitom kritickou aktivitou. Aby bylo možné vyhodnocovat návrhy rozměrných a komplexních konstrukcí, jako například letecké konstrukce, byla v minulosti vyvinuta řada pevnostních kritérií, která se však vyznačují omezenou oblastí platnosti. Ve specifických a zároveň kritických případech je proto nutné platnost použitých kritérií ověřit.

V některých případech, jako v případě vzpěry ocasních ploch Alice, se navíc výsledky simulace výrazně

rozcházejí s empirickými zkušenostmi odborníků. Z uvedených důvodů vznikla potřeba ověření platnosti pevnostních kritérií dlouhovlákných kompozitů na případu vzpěry nosné ocasní plochy letounu.

Metodika

V první fázi byly vyrobeny zkušební tělesa třech typů uhlíkových laminátů, u nichž byly změřeny mechanické vlastnosti. Naměřené mechanické vlastnosti se staly vstupem do simulace ohybové zkoušky, kde byl validován simulační model a byla získána představa o výsledcích, které poskytují jednotlivá pevnostní kritéria.



Obrázek 2: Index porušení při simulaci ohybové zkoušky

Tabulka 1: Odchylny pevnostních kritérií.

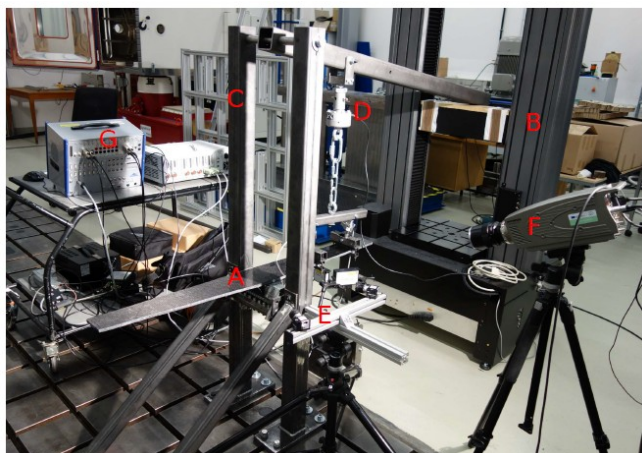
	$[0]_{45}$	$[0]_{45}$	$[0F, 0]_{25}$
Max stress	16,6%	26,9%	2,4%
Max strain	28,2%	26,5%	24,9%
Tsai – Hill	22,9%	22,7%	3,0%
Hoffman	16,0%	26,3%	1,6%
Hashin	16,5%	-	-

Z uhlíkového laminátu a PET jádra byl vakuovou infuzí vyroben model ocasních ploch, na kterém byly provedeny dva mechanické testy.



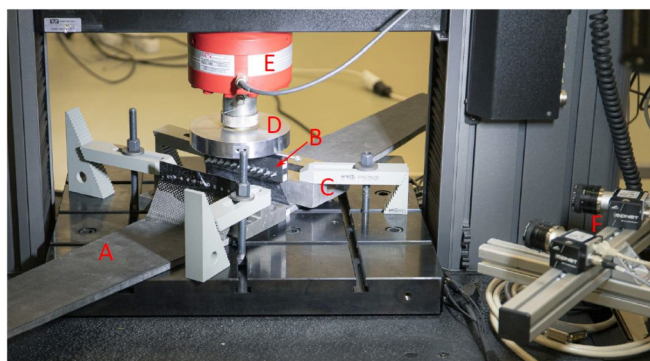
Obrázek 3: Vyroběný model ocasních ploch.

V prvním testu je napodobeno reálné zatížení vztlakem, které je simulováno pomocí závěsné soustavy dvou upnutí, která byla pomocí testovacího zařízení přes páku zvedána.



Obrázek 4: Sestava pro test křídla. A - křídlo, B - testovací zařízení, C – testovací rám, D - snímač síly, E - optický měřicí systém, G- měřicí analyzátor.

Cílem druhého testu je zjištění únosnosti samotné vzpěry. Křídlo je upnuto do zkušebního zařízení a tlakovým působením čelistí je vzpěra ohýbána.



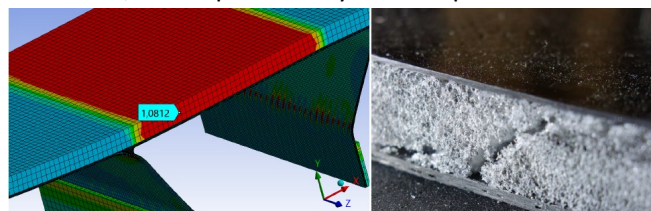
Obrázek 5: Sestava pro test vzpěry. A - křídlo, B - přípravek pro uchycení ložisek, C - úchyty k T-drážkovému stolu, D - tlaková čelist, E - snímač síly, F – optický měřicí systém.

Před provedením reálných testů jsou vytvořeny simulační modely v softwaru Ansys pro predikci porušení a verifikaci počítačového modelu s reálnými testy.

Výsledky a diskuze

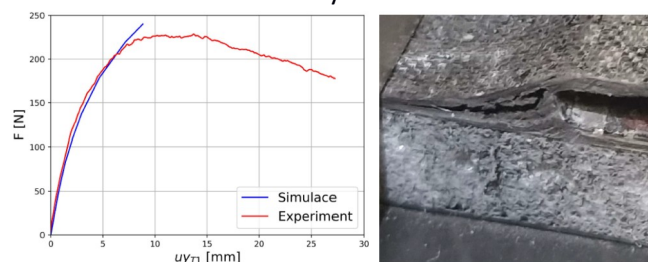
U prvního způsobu zatěžování simulace ukazovala na porušení jádra smykem při hodnotě 410 N, což odpovídá ztrátě linearit závislosti síly na posuvu při

testu. Prasklina v jádře při testu viditelně vznikla pod úhlem 45°, což odpovídá smykovému porušení.



Obrázek 6: Predikce porušení v simulaci a prasklina ve stejném místě při testu.

V simulaci testu vzpěry se jako kritické ukázalo normálové napětí v místě napojení dvou „skinů“, které predikuje porušení delaminací, tak jak k tomu bylo i v případě testu. Při porovnání posuvů vypočtených v simulaci a změřených při testu bylo dosaženo velmi dobré shody.



Obrázek 7: Test vzpěry. Porovnání posuvů (vlevo) a detail delaminace (vpravo).

Závěr

V simulaci obou testů pevnostní kritéria neindikovala porušení laminátových částí. To bylo ověřeno dvěma experimenty, při kterých bylo dosaženo dobré shody se simulacemi. K porušení vzpěry v ani jednom z případů nedošlo, čímž byla ověřena její funkčnost.

Poděkování

Tato práce byla podpořena z projektu Studentské grantové soutěže (SGS) na Technické univerzitě v Liberci v roce 2020.

Reference

- [1] LAŠ, Vladislav. *Mechanika kompozitních materiálů*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2008. ISBN 978-80-7043-689-9.
- [2] ZBONČÁK, Radek. *Pevnostní kritéria pro kompozitní materiály*. 1. vyd. Liberec: VÚTS, a.s., 2018. ISBN 978-80-87184-82-0.
- [3] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.