



# Aplikace pevnostních kritérií pro kompozitní materiály na případu letecké vzpěry

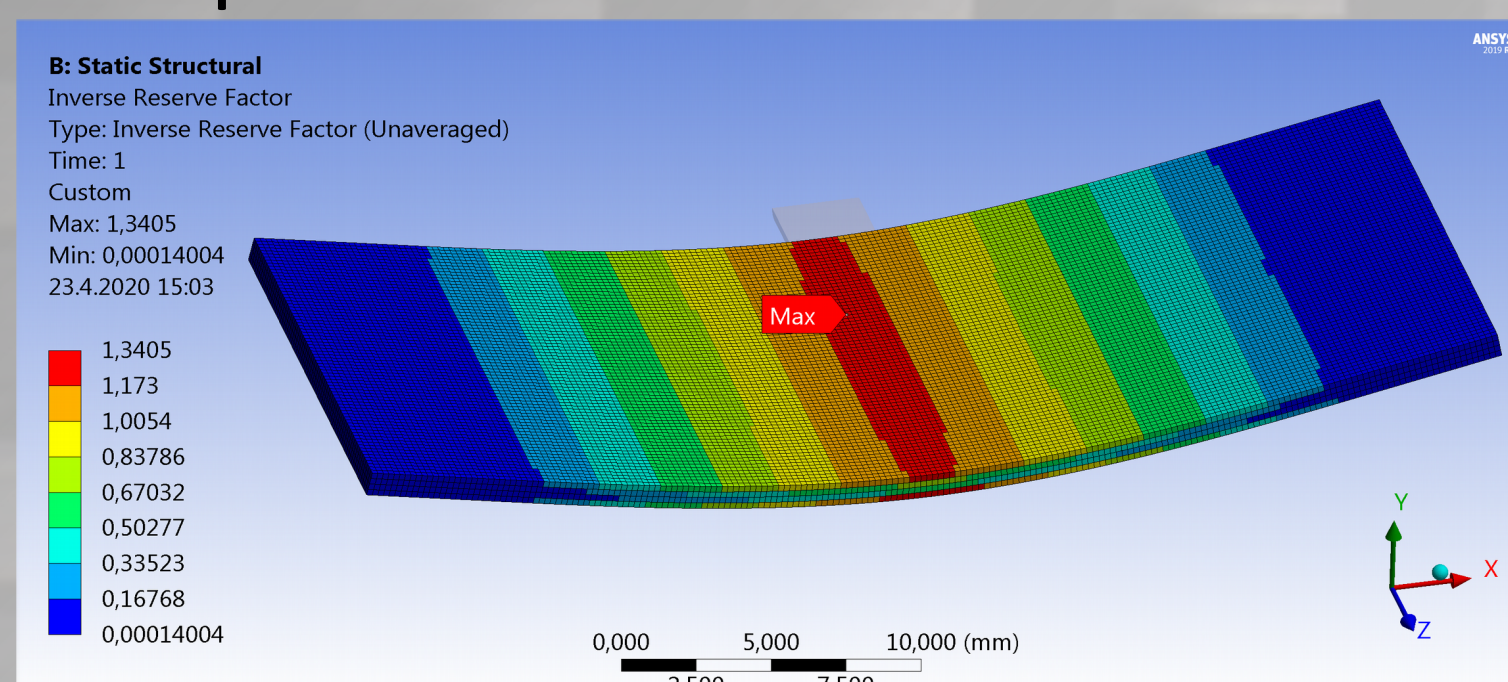
Bc. Václav Vomáčko <vaclav.vomacko@tul.cz>, doc. Ing. Petr Šidlof, Ph.D.

## ABSTRAKT

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 a jsou provedeny dva typy experimentů, jímž předchází konečněprvková simulace pro predikci mechanismu porušení a odhadu zatížení, při kterém dojde k porušení.

## 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.

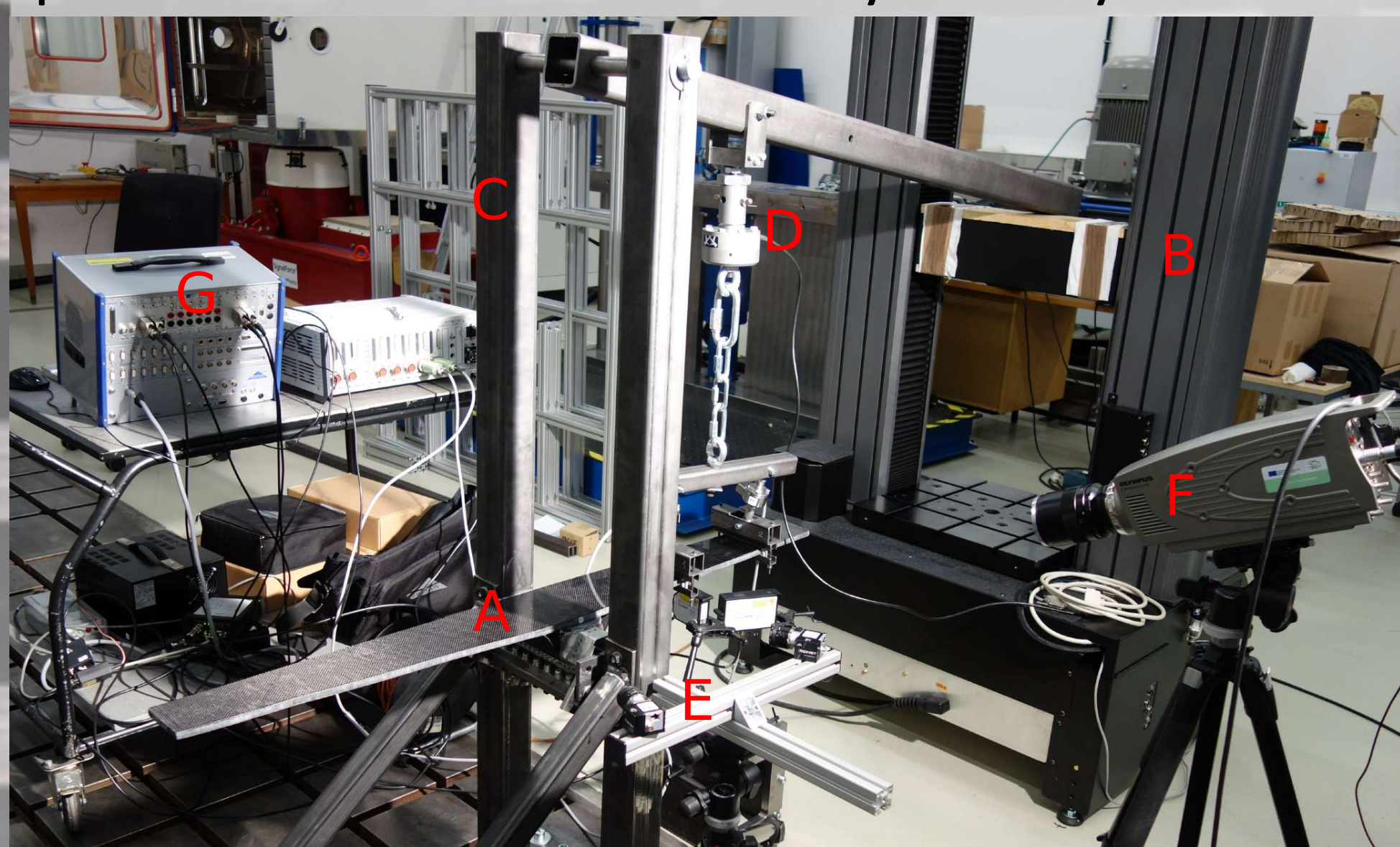


Obrázek 2: Index porušení při simulaci ohybové zkoušky

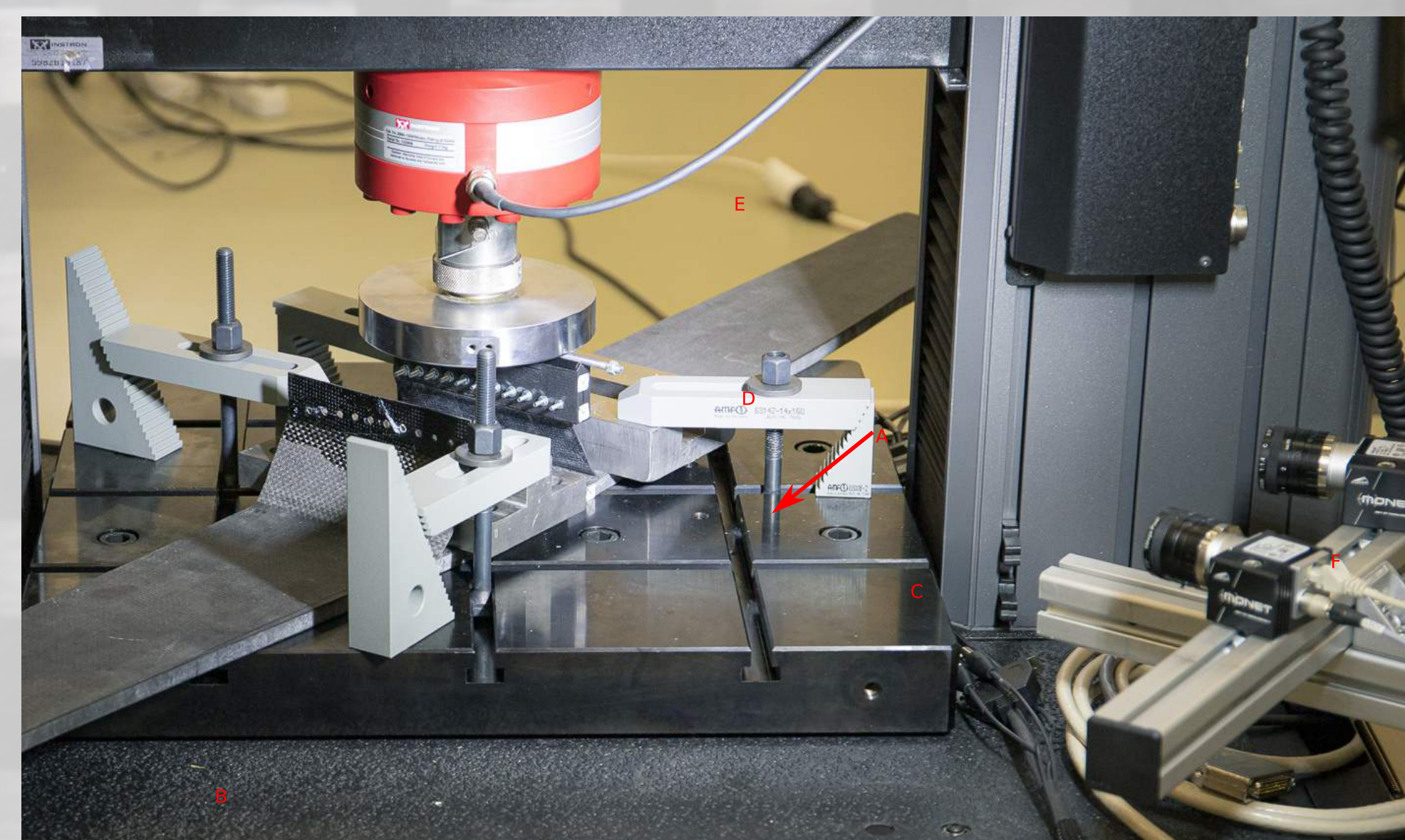
	$[0]_4$	$[0]_4$	$[0F, 0]_{2s}$
Max stress	16,6%	26,9%	2,4%
Max strain	28,2%	26,5%	24,9%
Tsai – Hill	22,9%	22,7%	3,0%
Hoffman	16,0%	26,3%	1,6%
Hashin	16,5%	-	-

Tabulka 1: Odchylky pevnostních kritérií

Z uhlíkového laminátu a PET jádra byl vakuovou infuzí vyroben model ocasních ploch, na kterém byly provedeny dva mechanické testy. V prvním testu je napodobeno reálné zatížení vztlakem, který je simulován pomocí závěsné soustavy dvou upnutí, která byla pomocí testovacího zařízení přes páku zvedána. Cílem druhého testu je zjištění únosnosti samotné vzpěry. Křídlo je upnuto do zkušebního zařízení a tlakovým působením čelisti je vzpěra ohýbána. Před provedením reálných testů jsou vytvořeny simulační modely v softwaru Ansys pro predikci porušení a verifikaci počítačového modelu s reálnými testy.



Obrázek 4: Sestava pro test křídla.



Obrázek : Sestava pro test vzpěry.

## ÚVOD

Použití dlouhovlákných kompozitních materiálů pro strukturální součásti je výhodné díky vysokému poměru mechanických vlastností a hmotnosti. Toho bylo využito při konstrukci ocasních ploch elektrojetadla 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.



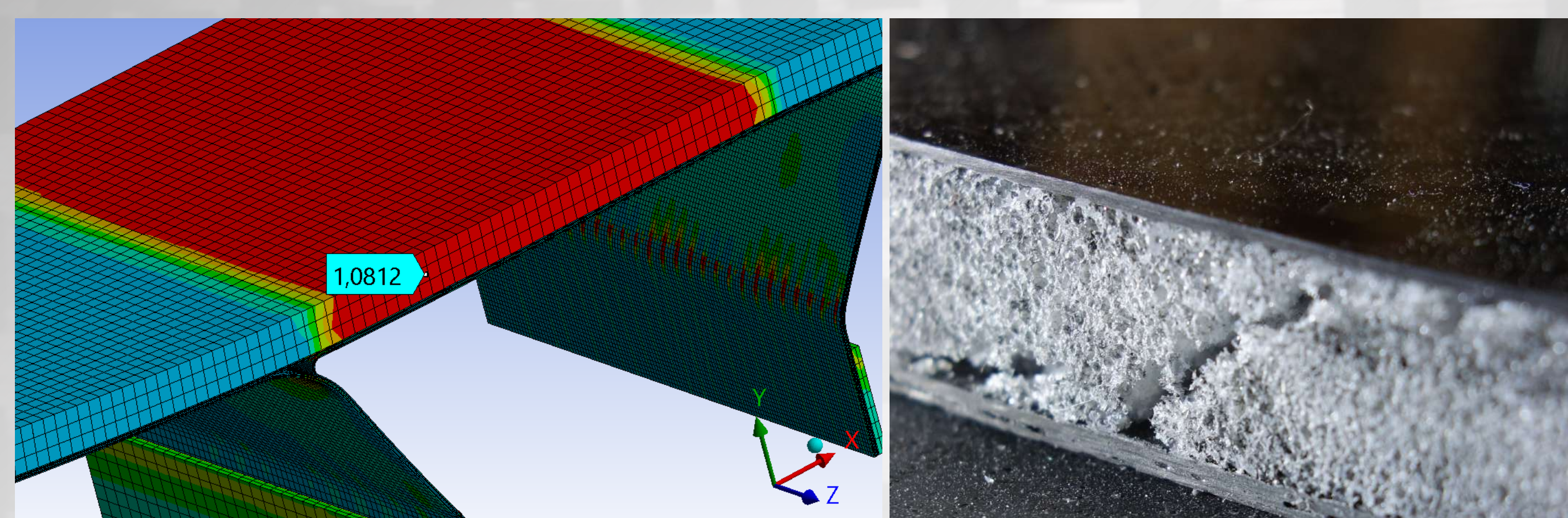
Obrázek 1: Elektrojetadlo Alice společnosti Eviation.

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 vyvinuta řada tzv. 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.

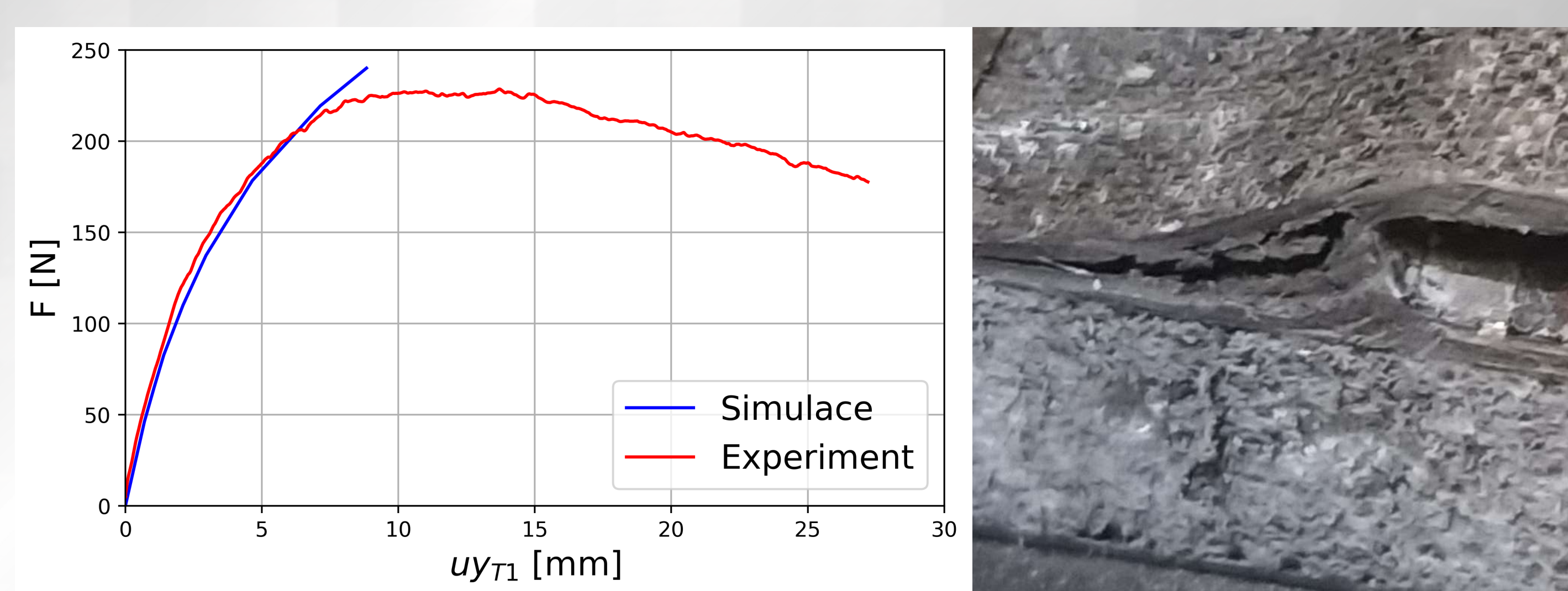
## VÝSLEDKY

U prvního způsobu zatěžování simulace ukazovala na porušení jádra smykem při hodnotě 410 N, což odpovídá ztrátě linearitu 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 dobrého 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 dobrého shody se simulacemi. K porušení vzpěry v ani jednom z případů nedošlo, čímž byla ověřena její funkčnost.