

# Únavové poruchy letadel řádovací elektronová mikroskopie

M. Šrámková

Soukromé gymnázium Pod Vyšehradem a na Dlouhém lánu s.r.o., Praha  
Email: [martina.matysek@gmail.com](mailto:martina.matysek@gmail.com)

P. Černý

Gymnázium Český Brod, Vítězná 616  
Email: [cerny.pvl@gmail.com](mailto:cerny.pvl@gmail.com)

T. Hluchý

Gymnázium Strakonice, Máchova 174  
Email: [tomislavek@centrum.cz](mailto:tomislavek@centrum.cz)

L. Podlešák

Gymnázium Strakonice, Máchova 174  
Email: [vanlada@seznam.cz](mailto:vanlada@seznam.cz)

## **Abstrakt:**

Fraktografická rekonstrukce růstové křivky únavové trhliny na základě rozteče striací se používá pro vzorky zatěžované cyklicky s konstantními parametry zatěžovacího cyklu (asymetrie, amplituda) [1]. Uvedenou metodu jsme použili pro vzorek zkoušený zatěžovacím spektrem s proměnnou amplitudou a asymetrií cyklu a výsledky srovnaly s laboratorním měřením v průběhu únavové zkoušky.

# 1 Úvod

V našem měření jsem měli za úkol stanovit růstovou rychlost únavové trhliny v materiálu zatěžovaného programovým zatížením typu "let za letem" [2]. Měření jsme prováděli pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu a výsledné rychlosti šíření srovnali s údaji naměřenými na CLKV Brno.

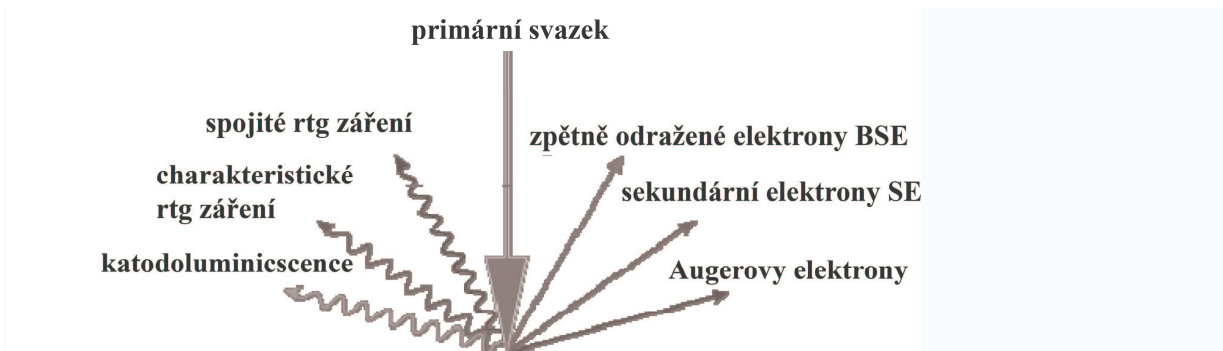
Únava materiálu je proces změn strukturního stavu materiálu a jeho vlastností vyvolaný kmitavým (cyklickým) zatěžováním. Proces únavového porušování sestává z fáze iniciace únavové trhliny, fáze jejího růstu a následného statického dolomu. Náhlý statický lom součásti letadla v důsledku existence únavové trhliny může mít v leteckém provozu fatální následky, proto se velká pozornost věnuje studiu rychlosti šíření únavové trhliny od délky detekovatelné defektoskopickým měřením až délku při které dojde k dolomu součásti. Znalost této rychlosti a doby, kterou potřebuje únavová trhlina k dosažení délky, při které dochází k dolomu je klíčová informace pro stanovení intervalu defektoskopických kontrol součástí letadel.

## 2 Elektronový mikroskop

Ke stanovení rychlosti šíření únavové trhliny lze použít metody kvantitativní fraktografie, které zkoumají morfologii lomové plochy. Rozteč  $s$  periodicky se opakujících fraktografických znaků, striací, na lomové ploše lze použít ke stanovení rychlosti šíření trhliny při znalosti závislosti  $v=D(s)*s$ . Funkce  $D(s)$  je charakteristikou příslušnou danému materiálu a zatížení. Protože rozteč striací je velmi malá a lomová plocha velmi členitá, používá se k jejich pozorování řádkovacího elektronového mikroskopu.

Rastrovací, nebo též řádkovací elektronový mikroskop je elektronový mikroskop, který využívá k zobrazování pohyblivého svazku elektronů [3]. Na každé místo vzorku je postupně zaměřen úzký paprsek elektronů (prochází jej po řádcích – odtud řádkovací). Interakcí dopadajících elektronů s materiálem vzorku vznikají různé detekovatelné složky (Obr. 1). Jak paprsek putuje po vzorku, mění se podle charakteru povrchu úroveň signálů v detektorech. Z těchto signálů je pak sestavován výsledný obraz. Získaný obraz je standardně monochromatický.

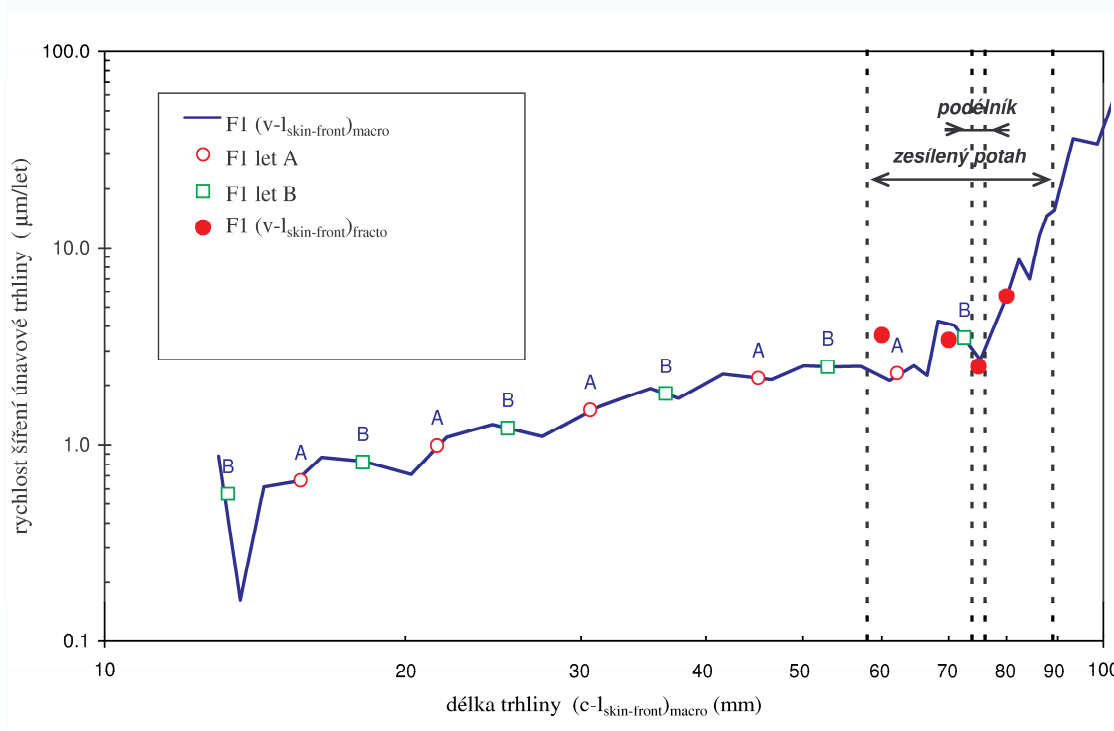
Zdrojem elektronů je elektronové dělo, nejčastěji wolframové žhavené vlákno, umístěné v tzv. Wehneltově válci. Elektrony jsou urychlovány směrem k vzorku urychlovacím napětím (typicky 0,1-30kV). Svazek elektronů (paprsek) je směřován a zaostřován elektromagnetickými čočkami. Tubus obsahuje zpravidla jednu nebo více kondenzorových čoček, objektivovou čočku, vychylovací cívky rastrů a cívky stigmátorů pro korekci astigmatismu.



Obr. 1. : Interakce elektronového svazku se vzorkem.

### 3 Fraktografické měření

Pomocí řádkového elektronového mikroskopu byly pořízeny fotografie lomové plochy vzorku F1R integrálního panelu. Fotografovaná místa od sebe byla vzdálena 0,5 cm až 1 cm. Zvětšení fotografie bylo 3.000x a 10.000x. U každé fotografie jsme změřili průměrnou vzdálenost striací, pro uvedenou délku trhliny a na základě uvedených údajů spočetli rychlost šíření, kterou jsme vynesli do grafu změřeného v rúběhu zkoušku na CLKV Brno [2] (viz Obr. 2).



Obr 2. : Rychlost šíření únavové trhliny v závislosti na její délce, data ze zkušebny CLKV a fraktograficky zrekonstruovaná data (červené body).

## 4. Výsledky

Z našeho měření je patrné, že nejmenší vzdálenost mezi striacemi a tedy nejnižší rychlost šíření je v oblasti podélníku (stringer). Zpomalení šíření trhliny v uvedené oblasti je dáno geometrií tělesa a bylo prozorováno i při experimentálním měření délky trhliny v CLKV. Přestože množina zkoumaných dat je velmi malá, bylo dosaženo dobré shody s realitou. Otázkou zůstává zda je shoda náhodná, nebo zda je použitá metoda rekonstrukce dostatečně robustní.

## Poděkování

Tímto chceme poděkovat Ing. Ondřeji Kováříkovi, Ph.D, Doc. Ing. Janu Sieglovi, CSc. a Ing. Janu Adámkovi, kteří nám s projektem pomohli.

## Reference

- [1] Kovářík, O.,- Siegl, J.,- Kunz, J.: Fractographic Reconstitution of Fatigue Crack Growth in Integrally Stiffened Panels, výzkumná zpráva, CVUT FJFI Praha 2007. 33 s
- [2] Kovářík, O.,- Siegl, J.,- Kunz, J.: Fraktografické posouzení značkováného únavového lomu integrálního panelu F2, výzkumná zpráva, CVUT FJFI Praha 2009. 12 s
- [3] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektronov%C3%BD\\_mikroskop](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektronov%C3%BD_mikroskop)