

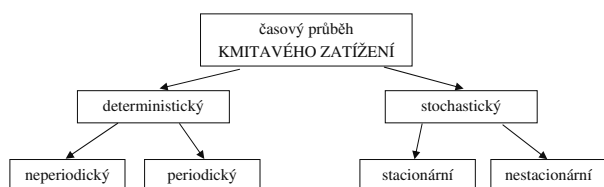
Zatížení mostů a únava

Únavová životnost je v podstatné míře závislá na účincích provozního zatížení, resp. odezvě konstrukce na provozní zatížení. U mostů je provozním zatížením míněno pohyblivé zatížení dopravou, které má dynamický charakter. Proměnné účinky pohyblivého zatížení na mostech mohou způsobit únavová poškození, která výrazně ovlivňují jejich spolehlivost a bezpečnost. Je proto nutné, aby konstrukce byla detailně posouzena i na účinky kumulovaného poškození únavou.

Pro návrh a dimenzování mostní konstrukce je nutné mít k dispozici co nejpřesnější zatěžovací údaje. Pokud návrh probíhá na základě doporučeného normového postupu, je stanovena zatěžovací třída mostu, je možno stanovit (odhadnout) typickou skladbu provozu a intenzitu dopravy za stanovené časové období (rok). Přesnější údaje o odezvě konkrétní mostní konstrukce lze získat pomocí experimentálně získaných, např. tenzometrických, měření ve vytipovaných místech. Tímto způsobem je možno obdržet reprezentativní záznamy účinků provozních zatížení a z nich odvozená spektra zatížení. Spektra zatížení, resp. získaná spektra napětí mohou být následně zpracována do spekter četnosti amplitud nebo do dvou parametrických „rain-flow matrix“ s případným doplněním středních hodnot. Vypovídací hodnota reprezentativních záznamů provozních zatížení je přímo závislá na délce experimentálního měření. Preferují se proto dlouhodobé záznamy; krátkodobé záznamy by měly být opakovaně konfrontovány s reálnými podmínkami.

Specifikum silničních mostů spočívá v tom, že na rozdíl od strojních součástí a také železničních mostů, u kterých jsou přece jen k dispozici daleko přesnější informace o intenzitě a skladbě dopravy a jejich účincích, u silničních mostů má zatížení převážně stochastický charakter.

Pro úspěšnou predikci únavové životnosti je potřebné mít k dispozici pokud možno výstižné informace o historii zatěžování. Kmitavá zatížení mohou být všeobecně rozdělena podle časového průběhu na průběh deterministický a stochastický. U deterministického průběhu zatížení je možno velikost zatížení v libovolném budoucím časovém okamžiku a v libovolném místě přesně stanovit. Převažuje-li zmíněná složka deterministická, může se dále jednat o proces periodický nebo neperiodický. Pokud lze složku deterministickou vyloučit, zůstává pouze proces náhodný. Stochastický průběh zatížení se mění nepravidelně, náhodně. S ohledem na stochastický charakter je možno tento průběh popsat pouze s využitím počtu pravděpodobnosti. Stochastický průběh zatížení je možno dále rozlišovat na stacionární a nestacionární.



Obr. 1 – Základní klasifikace kmitavých procesů

Charakter zatížení mostů a zejména mostů pozemních komunikací dopravou je možno klasifikovat jako proces náhodný (stochastický), na napěťovou odezvu má v konečném důsledku vliv také dynamické chování mostu.

VSTUPNÍ INFORMACE O ZATÍŽENÍ

Podle zvoleného přístupu posuzování vstupní informací o zatížení může být:

- rozkmit napětí,
- ekvivalentní rozkmit napětí,
- vyhodnocené spektrum rozkmitů.

TŘÍDICÍ METODY A VYHODNOCENÍ ÚČINKŮ ZATÍŽENÍ

Mostní konstrukce se všeobecně vyznačují tím, že časový průběh účinků únavového zatížení je velmi složitý a má stochastický charakter. V technické praxi existuje celá řada třídících metod. Společným znakem většiny z nich je to, že nedbají časové posloupnosti jednotlivých cyklů, což je ovšem přijatelné za předpokladu stochastického průběhu napětí. Třídění se tedy děje bez ohledu na časové měřítko:

- metoda Rain Flow,
- metoda Reservoir,
- metoda Range Count.

HYPOTÉZY KUMULACE POŠKOZENÍ

Nejjednodušší a nejvíce rozšířenou metodou je lineární hypotéza kumulace poškození, tzv. Palmgren-Minerova hypotéza:

$$D_i = \frac{n_i}{N_i} \quad (1),$$

kde N_i je počet cyklů odpovídajících rozkmitu $\Delta\sigma_i$ z Wöhlerovy křivky.

Konečnou sumaci dílčích poškození lze zapsat:

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} \geq 1, 0 \quad (2),$$

případně

$$\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i} \geq 1, 0 \quad (3),$$

kde n_i je počet kmitů ve spektru pro rozkmit napětí $\Delta\sigma_i$, N_i je počet kmitů do porušení pro hladinu rozkmitu napětí $\Delta\sigma_i$.

Přehled dalších metod je možno nalézt v odborné literatuře (např. Mansonova hypotéza, z nelineárního principu vychází také hypotéza podle Cortena a Dolana).

PRÁVĚPODOBNOSTNÍ VYJÁDRĚNÍ ÚNAVOVÉ ŽIVOTNOSTI

Posouzení únavové životnosti

V souvislosti se zaváděním nových evropských norem, konkrétně část EC3 Navrhování ocelových konstrukcí č. 1.9: Únava, se vedle dosavadního přístupu, který možno nazvat „bezpečnou životností“, zavádí i možnost „přípustného poškození“. Finální posouzení spolehlivosti, případně stanovení počtu cyklů do lomu, může být v závislosti na použité koncepci (bezpečný únavový život, příp. koncepce přípustného poškození) provedeno s využitím:

- **Ekvivalentního rozkmitu napětí**, např. pro jednotný sklon odpovídající Wöhlerovy křivky, např. pro vztažný bod N_C , tzn. $\Sigma n_i = N_C$, potom bude:

$$\Delta\sigma_E = \left[\frac{\sum n_i (\Delta\sigma_i)^m}{N_C} \right]^{1/m} \quad (4).$$

- **Kumulativní hypotézy poškození**, např. Palmgren-Minerovy, a odpovídající Wöhlerovy křivky, potom poškození odpovídající jednomu bloku zatížení lze vyjádřit:

$$D_b = \frac{\sum a_i}{N_D} = \frac{\sum n_i \left(\frac{\Delta\sigma_{of,i}}{\Delta\sigma_D} \right)^m}{N_D} \quad (5).$$

- **Přístupu podle LEFM** při sledování růstu trhliny z počáteční velikosti a_0 do kritické velikosti a_c , koncepce založené na ΔK s použitím Paris-Erdoganovy rovnice ve tvaru:

$$N_{i,j} = \int_{a_i}^{a_j} \frac{da}{C \cdot (\Delta K)^m} \quad (6).$$

- **Přístupu podle LEFM s využitím definice náhodné iniciační trhliny.** Iniciační trhlina a_i může být předpokládána jako náhodná veličina pomocí useknutého histogramu např. s log-normálním rozdělením (interval pro a_i od 0,2 až 2,0 mm). Efektivní délka počáteční trhliny je pak určena se započítáním korekce s ohledem na plastickou zónu jako $a_{i,eff} = a_i + r_y$.

SOUHRN A ZÁVĚRY

Proměnné účinky pohyblivého zatížení na mostech mohou způsobit únavová poškození, která výrazně ovlivňují spolehlivost a bezpečnost mostů. Je proto nutné, aby konstrukce byla detailně posouzena i na účinky kumulovaného poškození únavou. Posouzení únavové životnosti má být provedeno v souladu s doporučeními podle [16] a s přihlédnutím ke zvolené koncepci posouzení (bezpečný únavový život, příp. koncepce přípustného poškození). S ohledem na stochastický charakter zatížení a náhodný charakter i dalších vstupních veličin je vhodné využít při predikci únavové životnosti pravděpodobnostních přístupů. V těchto případech je pak vhodné, aby účinky provozního zatížení byly definovány pomocí vyhodnoceného spektra rozkmitů.

S narůstajícími poznatky o této problematice se konzervativní deterministické metody posouvají k pravděpodobnostním, které jsou výstižnější, ale náročnější na teoretická řešení a aplikační uplatnění.

Projekt byl realizován za finanční podpory ze státních prostředků prostřednictvím Grantové agentury České republiky. Registrační číslo projektu je 103/07/0557.

doc. Ing. Miloš Rieger, Ph.D.,
Katedra konstrukcí, Fakulta stavební VŠB – TU Ostrava,

prof. Ing. Pavel Marek, DrSc.,
marekp@itam.cas.cz,
ÚTAM AV ČR

LITERATURA:

- [1] Marek, P., Guštar, M., Anagnos, T.: *Simulation-Based Reliability Assessment for Structural Engineers*, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1995, ISBN 0849382866
- [2] Marek, P., Guštar, M.: *Computer program AntHillTM (Copyright)*, Distr. ARTEch, Nad Vinicí 7, 143 00 Praha 4, 1989–2001
- [3] Marek, P.: *Prediction of Fatigue Life in a Steel Bridge*, IABSE Colloquium, Lousanne, 1982
- [4] Marek, P., Háša, P., Kottová, J.: *K životnosti ocelové mostní konstrukce z pohledu únavové pevnosti*, Inženýrské stavby, 1981/2, Alfa, Bratislava
- [5] Marek, P., Krouský, J.: *Únavová pevnost ocelových mostů*, Inženýrské stavby, 1981/2, Alfa, Bratislava

Bridge Load and Fatigue

The article presents discussion and recommendation in connection with influence and evaluation methods of bridge loading events. Newly, according to Eurocode 3, two reliability concepts may be considered: damage tolerant concept and safe life concept. Fatigue life assessment may be based on fully probabilistic concept, too. The loading as well as response history should be taken into consideration and a fatigue criterion, based on the stress-range concept, should be applied. Crack growth may be modelled using LEFM procedures, initial crack size a_i may be determined as input random variable with log-normal distribution.



doc. Ing. Miloš Rieger, Ph.D.

Dne 23. května 2009 zemřel náhle a nečekaně ve věku 50 let doc. Ing. Miloš Rieger, Ph.D., pedagog Katedry konstrukcí Fakulty stavební VŠB – technické univerzity v Ostravě a člen Redakční rady časopisu *Konstrukce*. Doc. Rieger je autorem nebo spoluautorem sedmi přihlášených vynálezů a významně se podílel na třech normách a směrnících z oblastí kotvení ocelových konstrukcí, použití patinujících ocelí ATMOFIX a navrhování výškových regálových systémů. Odborně zaměřeni doc. Riegera je patrně z jeho sedmdesáti publikací v odborných a vědeckých periodikách a na odborných konferencích. S doc. Ing. Milošem Riegerem, Ph.D., jsme se rozloučili dne 27. května 2009 v 11 hodin v obřadní síni krematoria ve Slezské Ostravě.



prof. Ing. Pavel Marek, DrSc.

Je vedoucím vědeckým pracovníkem na ÚTAM AV, v.v.i., ČR a profesorem na ZČU v Plzni, obor kovové konstrukce. Působil 13 let na univerzitách v USA, v Kanadě a téměř 30 let na stavebních fakultách v ČR. Zabývá se návrhem, rozvojem a aplikací pravděpodobnostní metody SBRA (Simulation Based Reliability Assessment). Publikáční činnost jako autora či spoluautora zahrnuje asi 500 prací, deset knižních publikací a jedenáct patentů.

- [6] Hudák, J., at all: *Comparison of Single-Cycle Versus Multiple-Cycle Proof Testing Strategies – Report no. 4318* Washington, D.C., NASA
- [7] Hudák, J.: *Únavové namáhání ocelových konstrukcí*, ManaCon Prešov, 2003, ISBN 80-89040-20-9
- [8] Vlk, M.: *Uplatnění metody SBRA při řešení únavových problémů*, Sborník konference Spolehlivost konstrukcí, DT Ostrava, březen 2001, Ostrava
- [9] Vlk, M.: *Posouzení únavové životnosti metodou dílčích součinitelů a metodou SBRA*, Sborník konference Spolehlivost konstrukcí, DT Ostrava, duben 2005, Ostrava
- [10] Růžička, M.: *Kritéria a postupy při posuzování únavové pevnosti a životnosti konstrukcí*. Habilitační práce, Fakulta strojní ČVUT Praha
- [11] Rieger, M., Marek, P., Lokaj, A.: *Dlouhodobé sledování dynamické odezvy mostního objektu*, Sborník příspěvků česko-slovenské konference EXPERIMENT '07, 25.–26. říjen 2007, Brno, s. 395–400, ISBN 978-80-7204-543-3
- [12] Rieger, M., Marek, P.: *Příspěvek k vyhodnocení únavového poškození ocelových mostů*, Sborník příspěvků VIII. celostátní konference se zahraniční účastí „SPOLEHLIVOST KONSTRUKCÍ“, 12. 4. 2007, Praha, pp. 151–154, ISBN 978-80-86246-33-8
- [13] Rieger, M., Marek, P.: *Příspěvek k problematice únavové životnosti mostních provizorií*, Sborník příspěvků IX. celostátní konference se zahraniční účastí „SPOLEHLIVOST KONSTRUKCÍ“, 14. a 15. 4. 2008, Praha, pp. 89–92, ISBN 978-80-02-02007-3
- [14] Peterson, R. E.: *Stress Concentration Factors*. John Wiley & Sons, New York, 1974
- [15] Janssen, M., Zuidema, J., Wanhill, R.J.H.: *Fracture mechanics*, Netherlands, 2002, ISBN 90-407-2221-8
- [16] Eurocode 3: *Design of steel structures – Part 1.9: Fatigue strength of steel structures*