

**České vysoké učení technické v Praze
Fakulta dopravní**

**Czech Technical University in Prague
Faculty of Transportation Sciences**

Ing. Bohumil Culek, Ph.D.

**Spolehlivost, životnost a zatížitelnost ocelových železničních
mostů ve vazbě na dopravní cestu**

**Reliability, lifetime and load-carrying capacity of steel railway
bridges in relation to traffic route**

Summary

The aim of the paper is to demonstrate the importance of reliability of steel railway bridges, its short time evaluation given by traffic load-carrying capacity and its long time evaluation given by complex lifetime assessment.

Bridge structures are an integral part of traffic route. Regarding to their structural complexity are bridges the main factor of reliability for whole traffic route. Their overall technical condition depends (among others) on amount of maintenance. The bridge maintenance is important mainly by older bridges, where its quality can increase or decrease bridge overall reliability. Determination of reliability in case of old bridges is important also in light of traffic load, which can be higher in comparison with traffic load for which were bridge structures designed. Also technical lifetime is a significant factor for bridge reliability determination (fatigue aspect).

As reliability criterion is commonly taken into account reserve of reliability. The reserve of reliability is further described by reliability index and (or) by failure probability. Mentioned criteria are based on probability principle and allow including non-traffic influences into calculation.

In the paper are described (in detail) procedures of traffic load-carrying capacity and fatigue lifetime estimation for given bridges. Probability calculations (simulations) based on Monte Carlo method are an integral part of reliability determination. A synthesis of experimental and theoretical methods is demonstrated.

Methods, procedures, approaches mentioned in the work are described in that way, which can be used in any case of steel railway bridge reliability determination.

Souhrn

V přednášce je diskutována spolehlivost ocelových železničních mostů, její krátkodobé hodnocení pomocí provozní zatížitelnosti a její dlouhodobé hodnocení z pohledu komplexního stanovení odhadu životnosti.

Mostní konstrukce jsou nedílnou součástí dopravní cesty, vzhledem k jejich konstrukční náročnosti jsou i určujícím faktorem spolehlivosti dopravní cesty jako celku. Jejich celkový technický stav je dán mimo jiné mírou údržby, která je jim věnována. Zejména u starších mostních konstrukcí je důležité stanovit jejich spolehlivost z hlediska provozního zatížení, kterému jsou vystaveny a které v některých případech je vyšší než v době jejich návrhu a z hlediska celkové doby života, jež má vypovídající schopnost o jejich spolehlivosti z pohledu možného únavového poškození.

Kriteriem spolehlivosti je standardně uváděna tzv. rezerva spolehlivosti jež může být dále popsána pomocí kritérií indexu spolehlivosti a pravděpodobnosti poruchy. Uvedená kritéria jsou založena na principu pravděpodobnosti a umožňují do výpočtů zahrnout vlivy, které nemají čistě provozní charakter.

V přednášce jsou uvedeny postupy stanovení provozní spolehlivosti a únavové životnosti konkrétních mostních konstrukcí. Demonstrována je nutnost využití (syntéza) experimentálních metod a teoretických metod. Nedílnou součástí jsou pravděpodobnostní simulační výpočty využívající metody Monte Carlo.

Uvedené postupy jsou popsány tak, aby byly využitelné pro libovolný typ ocelových mostních konstrukcí.

Klíčová slova: ocelové železniční mosty, spolehlivost, únavová životnost, zatížitelnost, pravděpodobnostní výpočty, metoda Monte Carlo, metoda konečných prvků, experimentální měření.

Keywords: steel railway bridges, reliability, fatigue lifetime, load-carrying capacity, probability calculations, Monte Carlo method, finite element method, experimental measurements.

Obsah

1 Úvod	6
2 Hodnocení spolehlivosti ocelových železničních mostů	8
2.1 Podklady pro pravděpodobnostní hodnocení spolehlivosti	9
3 Stanovení provozní zatížitelnosti ocelových železničních mostů	11
4 Stanovení životnosti stávajících ocelových železničních mostů	12
4.1 Pravděpodobnostní výpočet životnosti	13
4.2 Stanovení odhadu životnosti reálné konstrukce	13
4.2.1 Postup hodnocení životnosti (zjednodušeně)	15
5 Závěr	19
Seznam literatury	20
Curriculum Vitae	21

1 Úvod

Součástí politiky každého státu [1] je trvalý rozvoj dopravní infrastruktury umožňující hospodářský růst. Rozvoj je v tomto kontextu chápán nejen jako výstavba nových dopravních cest, ale i jako údržba a modernizace stávajících. Za účelem financování rozvoje dopravních cest v České republice byl zákonem 104/2000 Sb. zřízen Státní fond dopravní infrastruktury (SFDI), který poskytuje i příspěvky na průzkumné a projektové práce, studijní a expertní činnosti zaměřené na dopravní infrastrukturu [2]. Z hlediska železniční dopravní sítě je příjemcem finančních prostředků ze SFDI její správce, kterým je Správa železniční dopravní cesty, s.o. (SŽDC).

Přes neustálý rozvoj železničního stavitelství spočívající ve výstavbě velkých stavebních projektů (výstavba železničních koridorů, realizace Nového spojení v Praze, uvažovaná výstavba nového hl. nádraží v Brně) je třeba udržet trvalou provozuschopnost i železničních tratí regionálního a místního významu, které v mnohých případech zajišťují základní dopravní obslužnost a investice do regionů. Zatímco budování významných objektů investorsky zajišťují Stavební správy (organizační složky SŽDC), údržby a rekonstrukce menších rozsahů provádějí jednotlivé Správy dopravní cesty (organizační složky SŽDC).

Rozhodnutí, jaké finanční prostředky investovat do jednotlivých krajů (SDC) závisí na technickém stavu jednotlivých železničních dopravních cest.

Jedním z kritérií kvality je procento pomalých jízd, na kterém se významně podílí technický stav mostních objektů. Při pohledu na ocelové železniční mosty má na jejich stav vliv mnoho faktorů, z nichž nejvýznamnější jsou :

- stáří konstrukce,
- kvalita údržby,
- typ konstrukce,
- technologie výroby konstrukce (materiál, typ spojů, konstrukční řešení detailů, ...),
- agresivita prostředí,
- historie provozního zatížení.

Z hlediska celkového počtu železničních mostů je podíl ocelových mostů významnější u regionálních tratí, tento podíl činil 42 % [3] :

Zdroj dat: ČD, a.s.		Celostátní koridorové	Celostátní ostatní	Regionální	Ostatní	Celkem
Železniční mosty	ocelové	137	943	602	14	1696
	masivní	1244	2873	829	38	4984
	celkem	1381	3816	1431	52	6680
z toho : nevyhovující stav		58	310	131	17	516
- v %		4,2	8,1	9,2	32,7	7,7

Z celkového počtu je pak tento podíl cca 25 %.

Mostní konstrukce jsou navrhovány na stoletou životnost. Nezřídka však mostní objekty tuto životnost překračují, dle [4] bylo stáří mostů v roce 1999:

Objekty podle doby stavby	[ks]
do r. 1850	153
1851-1900	1865
1901-1960	2710
1961-1980	1567
po r. 1980	475

Průměrné stáří mostních ocelových konstrukcí je 72 let [5].

Závady na mostních ocelových nosných konstrukcích lze dělit následovně :

- korozní úbytky či přerezávání konstrukce,
- trhliny (únavové),
- uložení - ložiska,
- stav mostnic vč. upevnění koleje,
- závady od nárazu silničních vozidel.

Kvalitní údržbou lze některé závady zmírnit či úplně odstranit. Pokud pomineme závady od nárazu silničních vozidel, které nelze predikovat, mají největší význam závady vyvolané trvalým únavovým poškozením – trhliny.

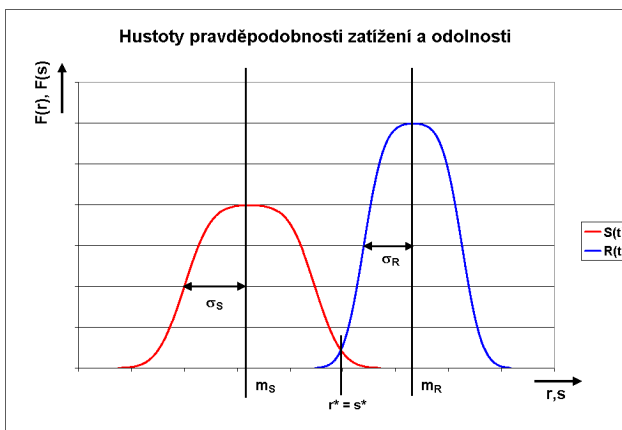
Z uvedených důvodů je právě dynamické zatěžování, v jehož důsledku únavové poškození vzniká, limitujícím faktorem spolehlivosti ocelových železničních mostů.

2 Hodnocení spolehlivosti ocelových železničních mostů

Hodnocení spolehlivosti ocelových železničních mostů (tzn. schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a čase podle stanovených tech. podmínek) je v současné době založeno na principu mezních stavů. Kriteériem spolehlivosti je tzv. rezerva spolehlivosti $G(t)$ [6] :

$$G(t) = R(t) - S(t) \geq 0 \quad (1)$$

Všechny veličiny ($R(t)$ ~ odolnost, $S(t)$ ~ zatížení) mají obecně náhodný charakter a výpočet $G(t)$ vychází z teorie pravděpodobnosti (obr.1).



Obr.1 Rezerva spolehlivosti $G(t)=R(t)-S(t)$

Zatížení je charakterizováno stálými, dlouhodobými a krátkodobými složkami. Z hlediska intenzity zatížení železničních mostů převládá krátkodobá složka $S_T(t)$, kterou lze dle [7] od zbývajících oddělit :

$$S(t) = \sum S_i(t) - S_T(t) \quad (2)$$

Dosadíme-li (2) do (1) získáme po úpravě :

$$z_T = [R(t) - \sum S_i(t)] / S_T(t) \geq 1 \quad (3)$$

Uvedený výraz je základní charakteristikou při posuzování stávajících konstrukcí. Prof. Šertler uvedený výraz označil jako provozní zatížitelnost. V dané souvislosti je třeba rozlišit provozní zatížitelnost (stanovenou pravděpodobnostním výpočtem) a zatížitelnost užívanou v technické literatuře [8] , která je založena deterministicky

Možnými kritérii spolehlivosti dle [7] mohou být :

- pravděpodobnost poruchy,
- index spolehlivosti.

Pravděpodobnost poruchy lze vyjádřit :

$$P_f = P(G < 0) \quad \text{nebo} \quad P_f = P(z_T < 1) \quad (4)$$

Kritériem spolehlivosti je v tomto případě podmínka $P_f < P_{fd}$, kde P_f značí návrhovou pravděpodobnost poruchy.

Index spolehlivosti β je dán podílem střední hodnoty rezervy spolehlivosti $G(t)$ a směrodatné odchylky $G(t)$:

$$\beta = (m_R - m_S) / \sqrt{s_R^2 + s_S^2} \quad (5)$$

Kritériem spolehlivosti je v tomto případě podmínka $\beta < \beta_d$, kde β_d značí návrhový index spolehlivosti. Index spolehlivosti lze využít pouze v případě, že rezerva spolehlivosti má normální rozdělení pravděpodobnosti.

Spolehlivost železniční dopravní cesty jako celku je dána spolehlivostí jednotlivých jejích částí. Z hlediska náročnosti údržby, riziky spojenými s případnými haváriemi jsou železniční mosty kritickými místy dané železniční dopravní cesty.

2.1 Podklady pro pravděpodobnostní hodnocení spolehlivosti

Pravděpodobnostní hodnocení spolehlivosti ocelových železniční konstrukcí musí být založeno na syntéze experimentálních a teoretických postupů :

Experimentální metody

- tenzometrická měření (in situ, v laboratoři),
- měření změny klimatických podmínek (teploty),
- defektoskopická měření,
- laboratorní testy úbytku materiálu (koroze),
- další.

Teoretické metody

- zpracování záznamů experimentálních měření (filtrace, dekompozice),
- metody statistického vyhodnocení záznamů experimentálních měření,
- metody počítačové simulace (počítačové modely),

- metody hodnocení (diskuze výsledků),
- další.

Volba jednotlivých metod a jejich následnost vždy přímo závisí na požadavku hodnotitele spolehlivosti konstrukce.

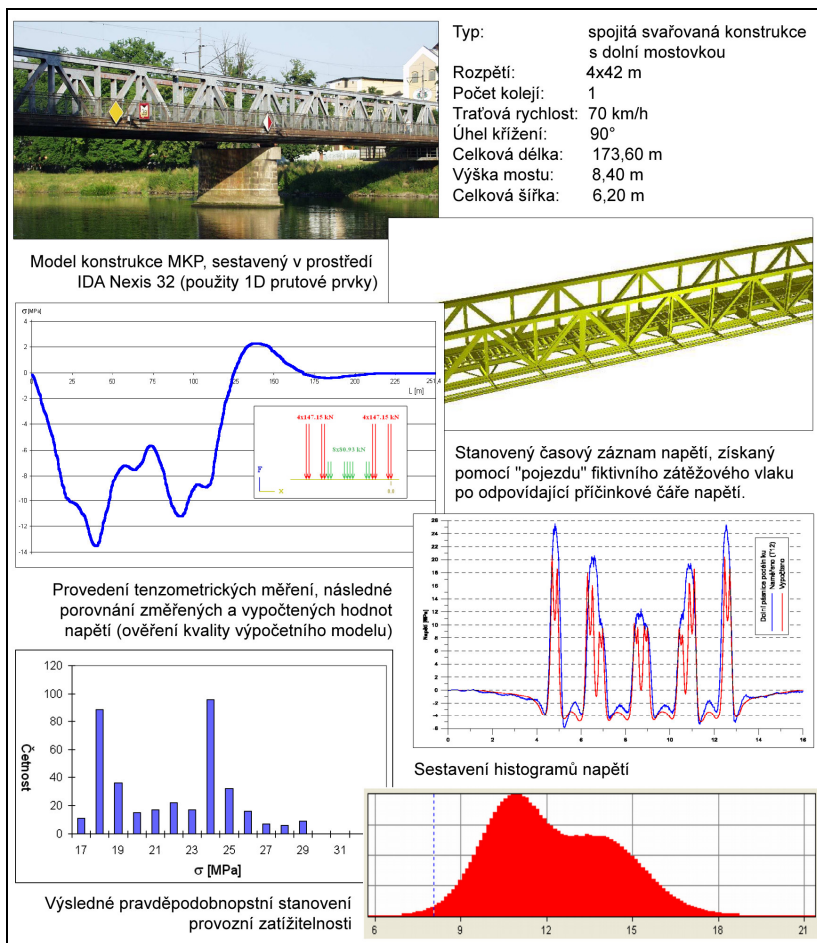
V případě hodnocení okamžitého stavu konstrukce, např. stanovení provozní zatížitelnosti je volba metod následující :

- tenzometrická měření (in situ),
- sestavení výpočetního modelu MKP,
- stanovení stálých složek zatížení (jejich reakce),
- statistické zpracování provozního zatížení,
- sestavení zatěžovacích modelů,
- výpočet příčinkových čar a stanovení časových průběhů napětí výpočtem,
- porovnání změřených a vypočtených záznamů napětí (ověření výpočtového modelu),
- diskretizace simulovaných záznamů napětí a sestavení histogramů,
- stanovení histogramů odolnosti konstrukce,
- pravděpodobnostní výpočty provozní zatížitelnosti (metoda Monte Carlo).

V případě hodnocení dlouhodobého vývoje stavu konstrukce, např. stanovení životnosti je volba metod následující :

- sestavení výpočetního modelu MKP,
- stanovení stálých složek zatížení (jejich reakce),
- stanovení klimatických složek zatížení (jejich reakce),
- statistické zpracování hydrometeorologických dat,
- experimentální měření dopadu klimatických změn (měření teploty konstrukce),
- tenzometrická měření (in situ),
- sestavení kombinovaných záznamů napětí,
- diskretizace záznamů napětí a sestavení histogramů,
- sestavení fyzikálních modelů (konstrukčních uzlů),
- sestavení výpočetního modelu MKP konstrukčního uzlu,
- experimentální stanovení únavové křivky,
- stanovení přepočtového koeficientu historie zatížení,
- pravděpodobnostní výpočet dílčích poškození,
- stanovení životnosti pro danou pravděpodobnost porušení.

3 Stanovení provozní zatížitelnosti ocelových železničních mostů



Obr.2 Postup stanovení provozní zatížitelnosti

Stanovení provozní zatížitelnosti ocelové mostní konstrukce lze vyjádřit jako kombinaci náhodných a deterministicky stanovených veličin. V [6] je finální vyjádření provozní zatížitelnosti vyjádřeno vztahem:

$$z_T = \frac{f_y \cdot \varphi_a \cdot \varphi_b - \sigma_{gq}}{\sigma_T \cdot \delta} \quad (6)$$

- kde f_y je mez kluzu materiálu (náhodná veličina),
 φ_a je poměrná náhodná geometrická veličina průřezu,
 φ_b je vliv stability průřezu (náhodná veličina),
 σ_{gq} je napětí v konstrukci od stálých složek zatížení (deterministicky stanovená veličina),
 σ_T je napětí v konstrukci od provozního zatížení (náhodná veličina),
 δ je dynamický součinitel.

Konkrétní pravděpodobnostní vyjádření provozní zatížitelnosti je demonstrováno v [6]. Náhled na výpočet železniční ocelové mostní konstrukce přes řeku Labe v Nymburce (trat' Poříčany – Nymburk město, km 13,169) je uveden na obr.2.

4 Stanovení životnosti stávajících ocelových železničních mostů

Hodnocení únavové životnosti ocelových mostů je nedílnou součástí stanovení jejich celkové spolehlivosti. Toto hodnocení (odhad životnosti) lze provádět v zásadě dvěma odlišnými způsoby :

- pomocí teorie kumulace únavového poškození [9,10],
- pomocí teorie lomové mechaniky [11,12].

Z hlediska stávajících mostních ocelových konstrukcí, kde je obecným předpokladem jejich kvalitativně dobrý stav, který nepředpokládá rostoucí únavové trhliny, je vhodnější teorie kumulace únavového poškození. Tato teorie umožňuje predikovat únavovou životnost konstrukce do vzniku trhliny.

Z uvedeného důvodu je tato teorie aplikována i do legislativy navrhování ocelových konstrukcí [13,14]. Vhodnost normových postupů však do značné míry naráží na některé zásadní problémy :

- historie zatížení konstrukce,
- stanovení materiálových charakteristik (únavové křivky) u složitých konstrukčních detailů,
- stanovení reprezentativního spektra mechanického napětí.

Významným handicapem normového přístupu je i striktní volba hypotézy hodnocení únavové životnosti (Palmgren-Miner), která ne vždy je vhodná pro výsledný odhad.

V současné době existuje velké množství různých hypotéz hodnocení únavové životnosti založených na teorii kumulace únavového poškození [9]. Pouze některé však připouštějí možnost pravděpodobnostního

hodnocení, které je určitým východiskem pro zahrnutí širšího spektra zatížení či jeho historie do výpočtu.

4.1 Pravděpodobnostní výpočet životnosti

V posledních letech, v souvislosti s prudkým rozmachem výpočetní techniky, se začínají využívat nové – pravděpodobnostní přístupy, principiálně vycházející z deterministických hypotéz. Tyto nové přístupy využívají ke stanovení odhadu životnosti pravděpodobnostní metody (např. metoda Monte Carlo, metoda Zobecněných latinských čtverců, metoda Odezvové plochy). Podstatou těchto metod je velké množství výpočtů-simulací.

K odhadu životnosti lze využít standardizované počítačové výpočetní systémy založené na metodě SBRA [15] (M-Star, Ant-Hill). Tyto systémy umožňují provést komplexní výpočet odhadu životnosti na požadovanou pravděpodobnost poruchy s možností zahrnutí neprovozních vlivů (vliv teploty, vliv větru, vliv vlastní tíhy apod.).

4.2 Stanovení odhadu životnosti reálné konstrukce



Obr.3 Plnostěnný ocelový most přes Labe

Na rozdíl od zatížitelnosti je odhad životnosti zatížen velkou mírou nejistoty plynoucí z nejistoty vstupních dat (historie zatěžování), z volby vhodné hypotézy odhadu životnosti (Palmgren-Miner, Corten-Dolan, další),

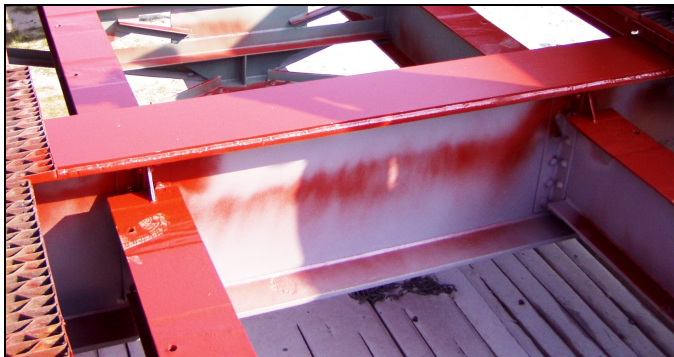
z kvality výpočetního modelu, apod. Proto je vhodné navržené postupy verifikovat na reálných konstrukčních uzlech, u kterých byla životnost vyčerpána.

Návrh postupu komplexního pravděpodobnostního hodnocení životnosti uvedený v [16] je demonstrován na reálné mostní konstrukci ocelového železničního mostu přes Labe, km 2.184, trať Rosice nad Labem – Hradec Králové (obr.3).

Daná konstrukce splňovala podmínky pro ověření metodiky hodnocení životnosti :

- možnost ověření reálné životnosti,
- dosud nepředpokládaný vliv teploty,
- znalost historie zatížení,
- znalost stáří konstrukce,
- typická konstrukce (více existujících exemplářů),
- dostupnost konstrukce,
- možnost provádění experimentálních měření.

Kritické místo konstrukce z hlediska únavové pevnosti (obr. 4) bylo charakterizováno připojením podélníku na příčník. Toto připojení se jevilo jako tuhé (nepřrůstná pásnice podélníku, zesílená stojina podélníku).



Obr.4 Kritické místo konstrukce

Z hlediska polohy kritického místa vzhledem k celkové délce přemostění byla nejméně příznivá poloha nad ložisky (vnitřními), kde se nacházeli špičky negativních ohybových momentů. V daných místech byly před opravou, provedenou v roce 1998, nalezeny únavové trhliny (obr.5). Oprava byla provedena výměnou podélníků.

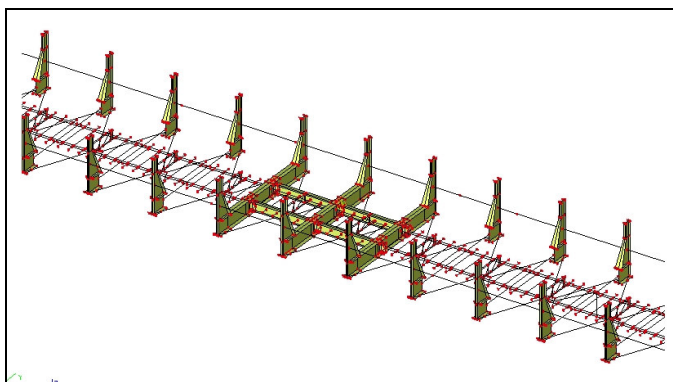


Obr.5 Únavová trhлина na podélníku

Při výpočtu (stanovení) únavové životnosti byly zohledněny vlivy nestejnoměrného oteplování a vlastní tíhy konstrukce. Všechny účinky zatížení a následné stanovení únavových charakteristiky (Wöhlerova křivka) byly přepočítány do místa předpokládaného vzniku únavové trhliny.

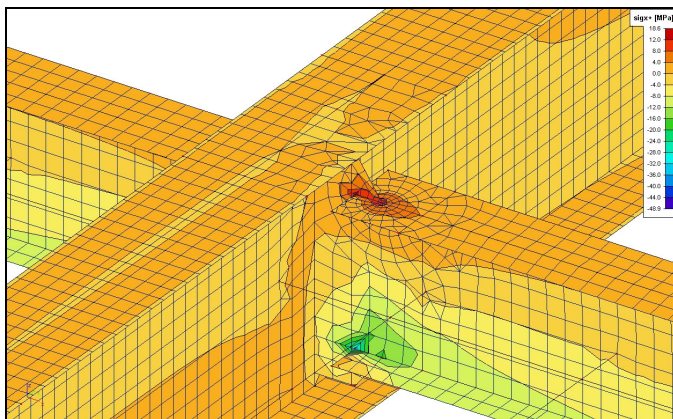
4.2.1 Postup hodnocení životnosti (zjednodušeně)

1) Sestavení výpočetního modelu celé nosné konstrukce (ESA PT) s důrazem na kvalitu modelu zejména v oblasti kritického místa konstrukce (obr.6).



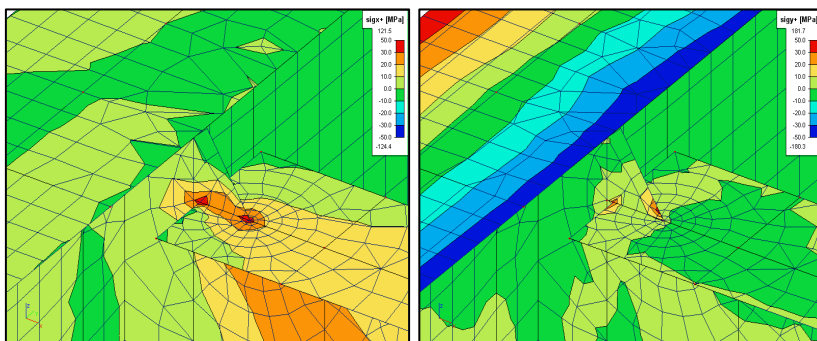
Obr.6 3D model nosné konstrukce

2) Stanovení odezvy konstrukce v kritickém místě na zatížení vlastní tíhou (obr.7).



Obr.7 Normálové napětí v kritickém místě konstrukce

3) Stanovení odezvy konstrukce v kritickém místě vlivem nerovnoměrného oteplení pro různé módy oteplování (obr.8).

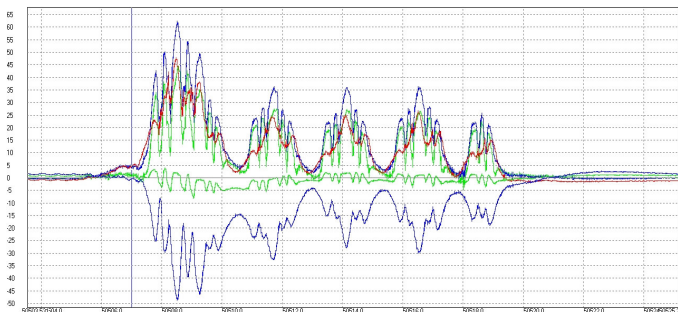


Obr.8 Kritické místo +40°C (sig_x+, sig_y+)

4) Stanovení časové změny napětí v kritickém místě v důsledku kolísání teploty pro různé měsíce roku (obr.9).

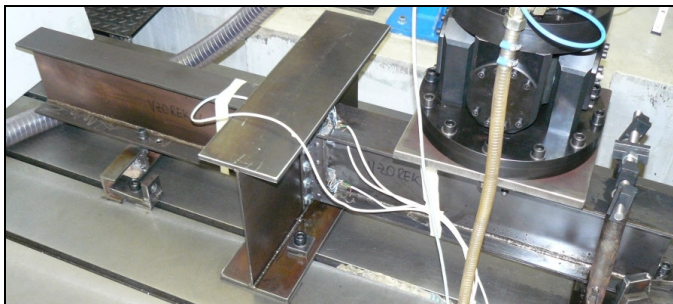
5) Statistické vyhodnocení hydrometeorologických dat, experimentální měření teploty konstrukce v různých místech a stanovení závislosti teplot ovzduší a konstrukce.

6) Experimentální měření odezvy na provozní zatížení - zaznamenáno 177 průjezdů vlakových souprav během 24 hodin (obr.10), vyhodnocení měření – stanovení dvouparametrických matic Rain-Flow.



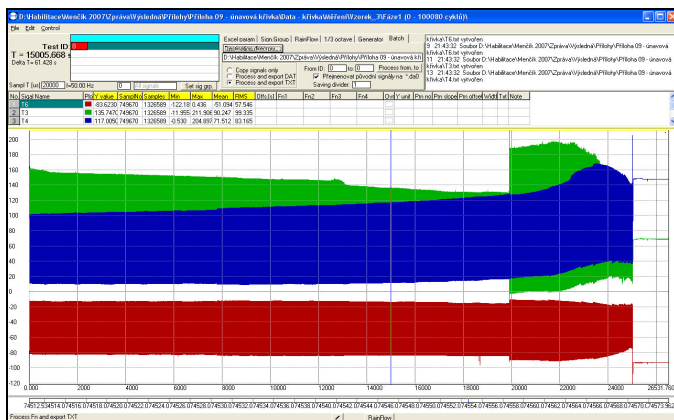
Obr.10 Záznam průjezdu osobního vlaku

8) Návrh a sestavení fyzikálního modelu [17], výpočet MKP (obr.11).



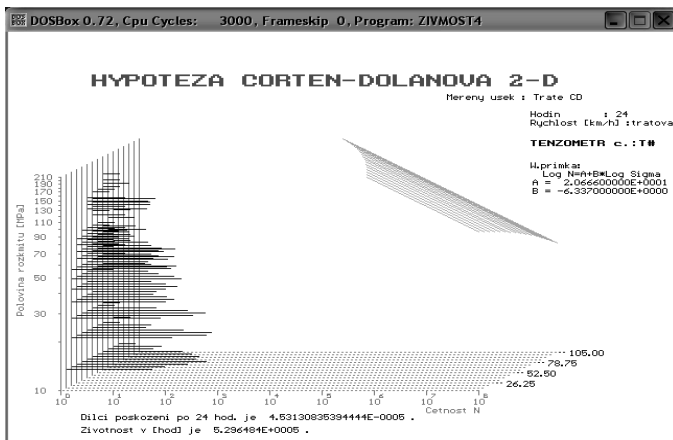
Obr.11 Axonometrický pohled na instalovaný zkušební vzorek

9) Stanovení Wöhlerovy únavové křivky (obr.12).



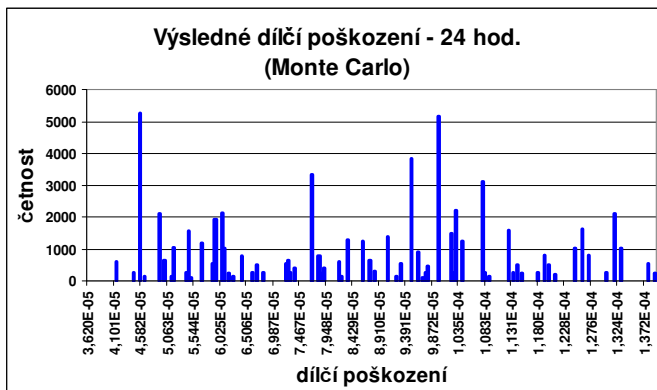
Obr.12 Záznam napětí při testech únavové křivky

10) Stanovení dílčích poškození pro různé módy zatěžování [18], hypotéza Corten-Dolanova, lineární únavová křivka, využití Smithova diagramu (obr.13).



Obr.13 Denní dílčí poškození 2D – leden, únor, březen, listopad, prosinec

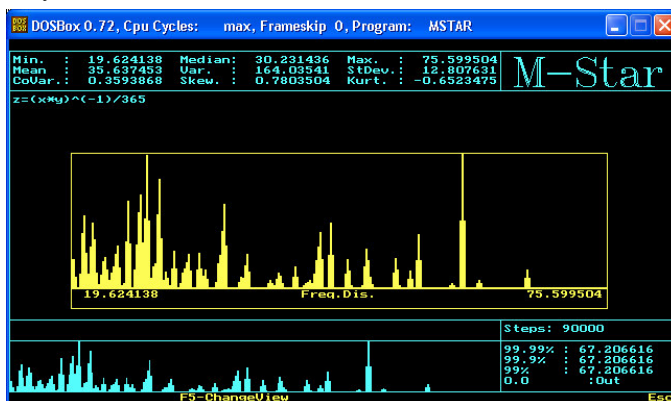
11) Stanovení historie zatěžování, statistické vyhodnocení dílčích poškození, sestavení histogramů dílčích poškození (obr.14).



Obr.14 Výsledné rozdělení pravděpodobnosti dílčího poškození 1966 – 2007

12) Pravděpodobnostní výpočet životnosti, použití metody SBRA [15]. Možnost stanovení odhadu životnosti pro požadovanou pravděpodobnost

poruchy. Zahnutí vlivu nerovnoměrného oteplování konstrukce a vlivu vlastní tíhy (obr.15).



Obr.15 Pravděpodobnostní výpočet životnosti (vliv teploty a vl.tíhy) - MStar

5 Závěr

Spolehlivost, životnost a zatížitelnost dopravní cesty jako celku závisí na spolehlivosti, životnosti a zatížitelnosti každé její části. Z uvedeného pohledu jsou ocelové mosty jedním z hlavních činitelů, které uvedené vlastnosti dopravní cesty limitují. Jejich geometrická náročnost, způsob namáhání jednotlivých jejích částí, klimatické podmínky, kterým jsou vystaveny, kladou zvýšené nároky na jejich údržbu. Z hlediska případného kolapsu mostní konstrukce jsou následky většinou katastrofální. Proto se klade zvýšený důraz na jejich spolehlivost, sleduje se jejich zatížitelnost (požadavek stanovení zatížitelnosti u všech přepočtů mostních konstrukcí), stanovují se odhady životnosti.

Současným trendem je optimalizace uvedených spolehlivostních parametrů, náhrada deterministických metod metodami pravděpodobnostními. Důvodem je možnost stanovení jednotlivých parametrů pro požadovanou pravděpodobnost poruchy, simulovat jejich pravděpodobný vývoj. To následně umožňuje vhodně naplánovat údržbu popřípadě rekonstrukci.

V textu přednášky jsou prezentovány hlavní principy pravděpodobnostního hodnocení spolehlivosti a jejich aplikace na dvě důležitá hlediska, kterými jsou provozní zatížitelnost a životnost ocelových mostů. V obou uvedených případech je nezbytná součinnost experimentálních a teoretických metod (zejména tenzometrická měření a počítačové modelování).

Seznam literatury

- [1] Dopravní politika České republiky pro léta 2005 – 2013 schválená usnesením vlády č.882 dne 13.7.2005.
- [2] Zákon 104/2000 o Státním fondu dopravní infrastruktury a o změně zákona č. 171/1991 Sb., o působnosti orgánů České republiky ve věcech převodů majetku státu na jiné osoby a o Fondu národního majetku České republiky, ve znění pozdějších předpisů, 4.4.2000.
- [3] Švagr P.: Mosty - nedílná součást naší dopravní infrastruktury, sborník Mosty 2006, Brno 2006.
- [4] Šerler H. a spol.: Interakce dopravních prostředků a dopravní cesty, dílčí zpráva plnění výzkumného záměru, Pardubice 1999.
- [5] Teichman M., Havelka J.: Diagnostika železničních mostů – aktuální výstupy z podrobných prohlídek, sborník Železniční mosty a tunely – 10 ročník, Praha 2005.
- [6] Beran L.: Spolehlivost a provozní zatížitelnost stávajících ocelových železničních mostních konstrukcí, disertační práce, Pardubice 2004.
- [7] Šerler H.: Stanovení spolehlivosti stávajících železničních mostů, Vědeckotechnický sborník ČD č.7, 1999.
- [8] ČD SR 5 (S) : Určování zatížitelnosti železničních mostů, služební rukověť, 1995.
- [9] Růžička M., Hanke M., Rost M.: Dynamická pevnost a životnost, skripta ČVUT Praha 1987.
- [10] Frýba L.: Dynamika železničních mostů, Academia, Praha 1992.
- [11] Němec J.: Zvyšování životnosti dopravních zařízení, skripta Univerzita Pardubice, 1994.
- [12] Hertzberg R. W.: Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials (2nd edition), BestBookBuys, 1983.
- [13] ČSN 731401, Navrhování ocelových konstrukcí, Český normalizační institut 1998.
- [14] ČSN EN 1993-1-9, Eurocode 3 : Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-9: Únava, Český normalizační institut 2006.
- [15] Marek P., Guštar M., Anagnos T.: Simulation-based reliability assessment for structural Engineers, CRC Press, Inc., 1996.
- [16] Culek B ml.: Vliv teploty a vlastní tíhy na únavovou životnost ocelového mostu s prvkovou mostovkou, hab. práce, Praha 2008.
- [17] Culek B.: Elektrohydraulický stand, přehledová zpráva č. B5-01/2006, VCKV, Pardubice, 2006.
- [18] Culek B.: ZIVMOST, software pro výpočet životnosti, Praha, 1996.

Curriculum Vitae

Bohumil Culek, Ing., Ph.D.

Vzdělání :

- 1993 – 1998 Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravní infrastruktury, Inženýrské studium
ukončeno státní zkouškou
Zaměření : Únavová pevnost a životnost ocelových
konstrukcí
- 1998 – 2003 Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravní infrastruktury, PhD. program ukončen
obhajobou disertační práce
Zaměření : Únavová pevnost a životnost ocelových mostů

Praxe :

- 3/94-7/94 České dráhy, železniční stanice Praha-Libeň, posunovač.
- 6/96-8/96 České dráhy, Výzkumný ústav železniční Praha,
dynamický zkušební stav na experimentální základně v
Cerhenicích. pomocný technik.
- 1998-2008 experimentální měření na železničních a silničních
mostech, v několika případech jako odpovědný vedoucí za
komplexní řešení zakázek.
- 2001-2002 České dráhy, Výzkumný ústav železniční Praha,
pracoviště Pardubice, výzkumný pracovník.
- 2003-2004 SŽDC s.o. SSP Praha, pracoviště Pardubice, stavební
dozor investora.
- 2004-dosud Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera,
Katedra dopravní infrastruktury, odborný asistent.

Pracovní zařazení :

Vedoucí dynamické zkušební laboratoře Dopravní fakulty Jana Pernera,
Odborný asistent, katedra dopravní infrastruktury, DFJP.

Zahraniční pobyty :

23.4.2001 – 22.7.2001	Universität Karlsruhe, BRD (Abteilung für Straßen- und Eisenbahnwesen)
10.9.2004 – 10.12.2004	Cork English College, Ireland
1.10.2006 – 14.10.2006	Ghent University, Belgiím, (Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering)
21.10.2006 – 4.11.2006	Delft University of Technology, Netherlands (Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department of Design & Construction)

Výzkumné zaměření :

- životnost ocelových konstrukcí (mostů),
- experimentální měření a diagnostika ocelových konstrukcí.

Výuka :

- Stavba a rekonstrukce mostů
- Automatizace inženýrských metod
- Kovové mosty I
- Kovové mosty II
- Steel bridges I
- Steel bridges II

Publikace :

4 články v národních a nadnárodních časopisech, 1 samostatná kapitola v mezinárodní monografii, 31 příspěvků na národních a mezinárodních konferencích, 3 oponované výzkumné zprávy, 21 ostatních publikací.

Současné výzkumné aktivity :

- Projekt 1M0519 - Výzkumné centrum kolejových vozidel (2005-2009, MSM/1M), spoluřešitel.
- Projekt GA103/08/1340 - Únavová odolnost ocelových ortotropních mostovek (2008-2010, GA0/GA), spoluřešitel.