

## COMPLIANCE CRITERIA TO BE PROOVED BY THE ANALYSIS OF A CIVIL ENGINEERING STRUCTURE

O. Fischer \*

*Summary: Any (not only) civil engineering structure must meet two fundamental requirements: the safety and serviceability before being put into service. While the safety is in general controlled by the loading and behaviour of the structure and by the resistance of its materials, which all are strongly supported by Codes and software packages, the serviceability is often left on the account and experience of the engineer. Some reflections and examples of failures are given in what follows.*

### 1. Úvod

Každá stavba i jakákoli jiná inženýrská konstrukce pořízená za nějakým účelem musí splňovat dva základní požadavky: být bezpečná a pro svůj účel použitelná. Zatímco na bezpečnost je obvykle kladen značný důraz – normy předepisují podrobně zatížení, často i typy konstrukce, způsoby výpočtu a přípustná namáhání různých materiálů, na posouzení použitelnosti má projektant podstatně méně podkladů, tedy záleží často na jeho vlastní iniciativě, na inženýrském rozhledu a zkušenosti. Při tom důsledky selhání v této oblasti celého díla mohou sice být méně katastrofální, ale neméně nepříjemné, věcně i morálně. V dalším jsou uvedeny některé příklady.

### 2. Kritéria posouzení spolehlivosti

#### 2.1 Posudek bezpečnosti

Posouzení spolehlivosti konstrukce může probíhat podle různých požadavků (Fischer 2005), z nichž nejběžnější je požadavek *bezpečnosti*, t.j. požadavek nezřícení konstrukce (nepřekročení mezního stavu únosnosti) při žádné z uvažovaných kombinací zatížení. Pro splnění tohoto požadavku se zpravidla požaduje průkaz omezení napjatosti konstrukce či podzákladí, vyloučení jevů nestability, vyloučení výskytu kritických rychlostí větru vedoucích ke katastrofálnímu rozkmitání a pod. V některých případech zřídka se vyskytujícího mimořádného zatížení lze jako mezní stav označit i stav značného poškození, které si vyžádá před opakováním onoho zatížení zásadní opravu či demolici stavby. Hodnoty výsledných parametrů konstrukce, přípustné z hlediska bezpečnosti, jsou zpravidla dány normami a předpisy, platnými pro příslušný typ konstrukce a materiál; toto stanovisko bylo od počátku stavebního projektování především sledováno (dodržení dovoleného namáhání), a tolerovaná pravděpodobnost jeho nedodržení je velmi malá, protože většinou vede ke ztrátám na životech (řádu  $10^{-7}$  až  $10^{-8}$ , ČSN 1998).

---

\* Prof. Ing. Ondřej Fischer, DrSc., ÚTAM AVČR, Prosecká 76, 19000 Praha 9. [fischero@itam.cas.cz](mailto:fischero@itam.cas.cz)

## 2.2 Posudek použitelnosti

Nesplnění požadavku *použitelnosti* zpravidla nevede ke ztrátám na životech, proto se jemu odpovídající pravděpodobnost připouští větší než pro bezpečnost (např. řádu  $10^{-2}$ ). Nicméně nesplnění tohoto kritéria může znamenat finanční i časové ztráty z toho, že stavba nemůže být od počátku plně využívána, případně že musí být nákladně rekonstruována. Z hlediska metody posuzování není mezi posudkem bezpečnosti a použitelnosti zásadní rozdíl, liší se pouze specifickým výběrem posuzovaných veličin a jejich přípustných hodnot.

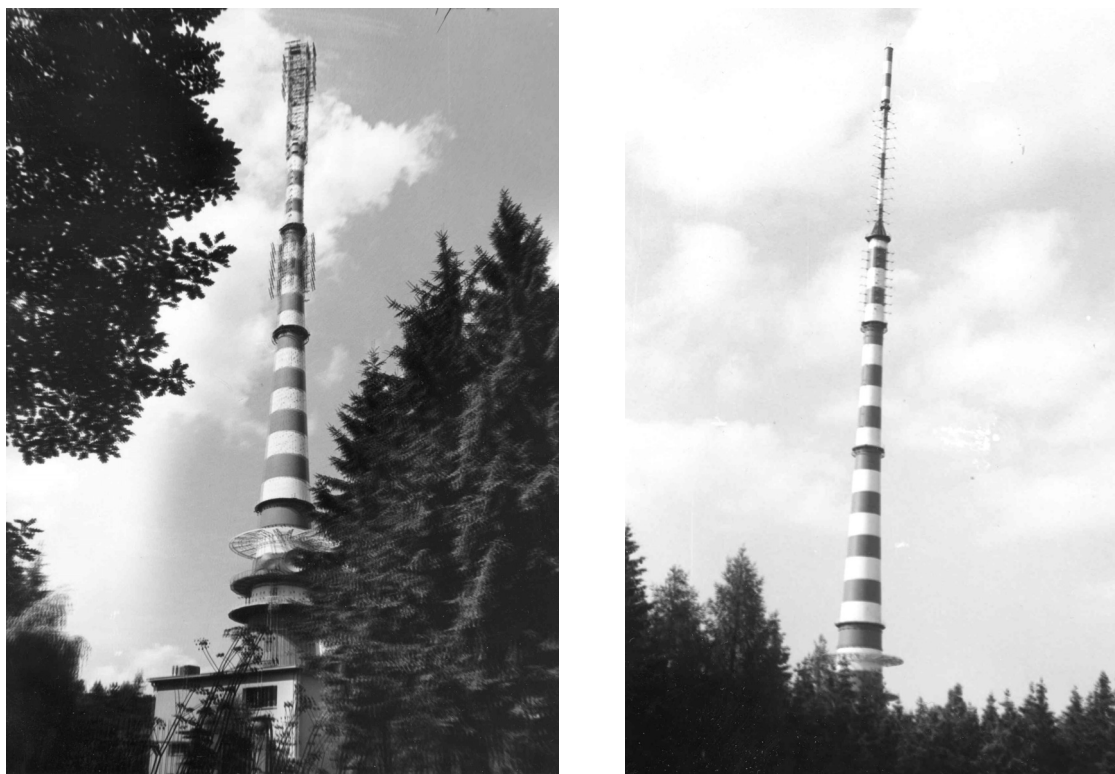
Na použitelnost stavby mají vliv veličiny, související s účelem budovy, např. statické deformace (průhyby, náklony, zkosení), dynamické deformace (frekvence, amplitudy, rychlosti a zrychlení pohybu a jejich charakter), hluk (intenzita, charakter, trvání) atd. Mohou to být i faktory ovlivňující pohodu a komfort obyvatel (průvan, víření větru v zákoutích), mohla by sem patřit i estetická stránka projektované stavby, její funkčnost v nejobecnějším slova smyslu atd; tato hlediska však zpravidla nebudou součástí projektu, ve které se uplatňuje mechanika konstrukcí.

Kritéria použitelnosti (požadavky na dodržení předepsaných hodnot posuzovaných veličin) nejsou tak snadno dostupná jako údaje o zatíženích či vlastnostech materiálů, nutné pro posouzení bezpečnosti, což znamená, že projektant musí konstrukci lépe pochopit, musí se s ní sžít. Mnohé je sice možné najít i ve stavebních normách (přípustné deformace konstrukčních prvků), pro mnohé je nutno přibrat další normy, např. technologické (přípustné deformace potrubí, přípustné vibrace strojů a citlivých zařízení), normy hygienické (přípustné otřesy a hluk v bytech a v citlivých i výrobních provozech) atd. Kromě toho není ani při použití všech známých norem a předpisů vyloučeno, že si sám statik, ve spolupráci s projektanty ostatních profesí, dále s objednatelem, uživatelem a zhotovitelem stavby musí domyslet a projednat rizika, jímž bude výsledné dílo vystaveno a jakým nárokům bude muset vyhovět. Skloubit všechny požadavky a zformulovat je do algoritmu řešení je pak úkol, jehož splnění vyžaduje nejen odbornou zdatnost, ale i zkušenost a vpravdě inženýrský rozhled.

## 3. Příklady uplatnění hlediska použitelnosti

### 3.1 Anténa

Pomineme-li dodržení předepsaného průhybu vaznic a podobných konstrukčních prvků, pak s prvním závažným uplatněním kritéria použitelnosti jsme se setkali koncem 60. let minulého století u stožárů a věží budovaných nebo adaptovaných pro vysílání druhého televizního programu v pásmu ultrakrátkých vln. Technologové tehdy požadovali, aby antény pro toto vysílání nebyly odkloněny od svislé o více než 0.55 stupňů, a to jak pro statický účinek (náklon vlivem oslunění, statický vítr), tak pro kmitání (flukтуаční složka větru, kmitání válců), a to kvůli kvalitě signálu přijímaného zvláště ve větších vzdálenostech od vysílače. Požadavek byl tak nekompromisní, že hrozila demolice tehdy necelých 10 let staré věže vysílače Cukrák a její nová výstavba. Nakonec se podařilo vhodnou rekonstrukcí tento požadavek splnit (obr 1), původní věž dosud stále slouží a přečkala i další úpravy nutné pro nové vysílací technologie. Projektant tehdy s průkopnickou odvahou prosadil myšlenku, že hledisko použitelnosti, zde oněch 0.55°, stačí dodržet s menší pravděpodobností, než hledisko bezpečnosti; s investorem bylo dohodnuto, že stačí podmínku malého náklonu antén dodržet v 99 % doby. Projektant k tomu trpělivě zpracoval anemometrické záznamy z Ruzyně za 5 let a prokázal, že při rychlosti větru, vyskytující se s touto pravděpodobností, je náklon nástavce s anténami vyhovující, viz (Šimáček, 1969). Když se pak ještě podařilo prokázat omezení únavového namáhání kyvadlovým pohlcovačem (Pirner et al., 1974), mohlo být přistoupeno k její rekonstrukci.



Obr. 1: Věž televizního vysílače Cukrák. Stav před rekonstrukcí začátkem 70. let, s příhradovým nástavcem, výška 190 m, a stav po rekonstrukci s rourovým a laminátovým válcovým nástavcem, výška 193.13 m

### 3.2 Lávka pro pěší

Nové pěší přemostění řeky Temže v Londýně z roku 2000 bylo pořízeno s velkou pozorností úměrnou závažnosti místa (turisticky významné centrum Londýna) i historického období (přelom tisíciletí). Návrhu, projektu i stavbě byla jistě věnována maximální pozornost. Uskutečnil se záměr architekta usilující o minimální porušení panoramatu města a tedy o maximální štíhlost díla („Blade of Light Skimming the Thames“ – světelná čepel stírající Temži): jde v podstatě o silně napjatou strunu (8 kabelů  $\phi$  120 mm) s minimálním průvěsem, o středním poli délky 144 m a krajních po 88 m (Dallard P. et al. 2001, Tisk). Hledisku bezpečnosti byla jistě během projektu věnována maximální péče, byla ověřována i aeroelastická stabilita náročnými zkouškami v aerodynamickém tunelu na špičkovém pracovišti v Kanadě, nicméně byla opomenuta okolnost, že natažená struna sice vzdoruje i příčným silám, ale jen pokud se může prohnout a pokud zatížení působí staticky, že však proti rozkmitání neklade prakticky žádný odpor. To dobře vědí hráči na smyčcové nástroje, ale tato skutečnost zřejmě ve stavebních normách pro projektanty není, ani v Anglii. Tak se stalo, že po slavnostním otevření lávky v sobotu 10. června 2000 musela být lávka za 18.2 miliónů liber hned po weekendu uzavřena kvůli nadměrnému houpání vyvozenému pohybem přecházejících lidí („Wobble Bridge“ – houpací most). Nad rekonstrukcí se 5 měsíců bávalo a dalších 15 měsíců pracovalo, stála dalších 5 miliónů liber, ale použitím 37 hydraulických tlumičů a 54 dynamických pohlcovačů kmitání se lávku podařilo stabilizovat tak, že od 22. února 2002 již slouží Londýňanům i turistům k plné spokojenosti bez toho, že by se nějak významněji narušil „čepelovitý“ záměr architekta. Kdo rekonstrukci zaplatil a kdo platí

údržbu tlumícího systému, což je cena za nerespektování (sice nepředepsaného, ale inženýrsky předvídatelného) hlediska použitelnosti lávky, není autorovi známo. Ukázka konstrukce a některých tlumících prvků je na obr. 2. a 3.



Obr. 2: Pěší most „tisíciletí“; a – celkový pohled, b – původní uchycení příčníků na lanech, c, d – uchycení příčníků s hydraulickými tlumiči po rekonstrukci

### 3.3 Pád skříňové stěny

Stalo se v panelovém domě, že na starší paní se při vstupu do pokoje zřítila nábytková stěna ze sektorových skříněk a zranila ji. Pod tímto bytem probíhala modernizace prakticky stejného bytu; k události sice došlo ráno, ještě než se začalo pracovat, nicméně bylo třeba vyšetřit souvislost rekonstrukčních prací s tímto úrazem a míra jeho zavinění – první podezření totiž padlo, jak to obvykle bývá, na otřesy vyvolané stavebními pracemi.

Šlo o panelový dům jednoho z prvních typů u nás užívaných, půdorysné schéma obou bytů je na obr. 4. Práce odpovídaly řádně schválenému projektu a stavebnímu povolení, prováděla je autorizovaná firma, železobetonové panely byly řezány kvalifikovaně diamantovou pilou, práce probíhaly jen ve dne. Otřesy nebyly měřeny, ovšem obyvatelé jistý hluk a nepořádek pociťovali a museli vydržet.



Obr. 3: Pěší most „tisíciletí“; původní stav bez příčného ztužení mostovky a stav po ztužení s hydraulickými tlumiči

Součástí rekonstrukce bylo odstranění příčky mezi dvěma pokoji, a právě nad ní byla umístěna nábytková stěna. Příčka evidentně neměla nosnou funkci, stropní panely byly v tomto systému podpírány příčnými nosnými stěnami domu (VÚSV, 1960). Podle katalogu však její výška byla na milimetr stejná jako výška nosných panelů, tedy na ní spočívající stropní panel byl zřejmě touto příčkou poněkud podpírán. Po odstranění příčky jistě nebyl problém s bezpečností, tedy s únosností stropu, ta byla zajištěna ohybovou únosností

stropního panelu, nicméně se tento panel mohl při přebírání své nosné funkce po odstranění „nenosné“ příčky poněkud (1 – 4 mm) prohnut, což ovlivnilo jeho použitelnost. Nábytková stěna v těchto místech byla toho typu, kde skříňky jsou upevněny ve stojkách rozepřených mezi podlahou a stropem. U horního konce mají sice šrouby s hrotem, jenže omítka na panelech je tenká a beton panelů je kvalitní, takže pro amatéra nebylo snadné do něj hroty zapustit. Zde skutečně vrypy po hrotech ve stropě byly minimální, stěna zřejmě stála téměř v poloze labilní rovnováhy a nepatrný podnět mohl způsobit pád. I na tomto případě je vidět, jak samotné kritérium bezpečnosti ověřené výpočtem, ale bez inženýrské úvahy a představy o skutečném působení a užívání stavby, nestačí.

#### 4. Poděkování

Tato práce vznikla za podpory projektu GAČR 103/06/0099 a 103/05/2396. Identifikační kód výzkumného úkolu pracoviště ÚTAM je AV0Z 20710524.

#### 5. Literatura

ČSN 73 1401 (1998): Navrhování ocelových konstrukcí, ČNI Praha

Dallard P., Fitzpatrick A.J., Flint A., Le Bourva S., Low A., Ridsdill Smith R.M. & Willford M. (2001): The London Millenium Footbridge. *The structural engineer*, Vol 79, No 22, p. 17-33

Fischer O. (2005): Referenční hodnoty při dynamických úlohách. In: *Sborník VI konference Spolehlivosti konstrukcí*, (edt. Dům techniky Ostrava), 6.4.2005, ISBN 80-02-01708-0, p. 71-74

Pirner M., Fischer O. & Náprstek J. (1972): Experimental and theoretical analysis of dynamic behaviour of TV tower Central Bohemia. *Industrial aerodynamics abstracts* 4, 1972, p. 1-8

Šimáček F. (1969): Der zulässige Auslegungswinkel und die Bestimmung der entsprechenden Windgeschwindigkeit bei TV Türmen, unter besonderer Berücksichtigung des Senders Mittelböhmen. In: Proc. of the conf. on Tower Shaped Structures, The Hague 24-26 April 1969 (edt. A.M.Haas & H. van Koten, TU Delft), p. 53-63

Tisk: The Independent, 17. November 2000; The Daily Telegraph, February 23, 2002

VÚSV (1960) - Výzkumný ústav stavební výroby: *Dílce železobetonové z předpjatého betonu a z lehkých hmot* (Katalog staveb. prefabrikátů 1961-1965). Ministerstvo výstavby Praha.

