

ZÁSADY HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH KONSTRUKCÍ PODLE MEZINÁRODNÍCH PŘEDPISŮ

Milan Holický

Abstract

Assessment of existing structures is becoming more and more important and frequent engineering task. Continued use of existing structures is of a great significance due to environmental, economic and socio-political assets, growing larger every year. General principles of sustainable development regularly lead to the need for extension of the life of a structure, in majority of practical cases in conjunction with severe economic constraints. That is why assessment of existing structures often requires application of sophisticated methods, as a rule beyond the scope of traditional design codes. Nevertheless, apart from few national codes, three International Standards ISO related to assessment of existing structures, have been recently developed. Principles and rules provide in these documents are discussed together with existing Czech standard.

Úvod

Hodnocení existujících konstrukcí se bezpochyby stává stále častějším úkolem stavebnictví v České republice i zahraničí. Požadavek prodloužení životnosti stávajících stavebních konstrukcí z ekologického, ekonomického a sociálně politického hlediska se naléhavě uplatňuje u rostoucího počtu staveb různého stáří. Od roku 1987 platí v České republice norma ČSN 73 0038 Navrhování posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách [1], která byla ve své době unikátním dokumentem. V současné době se však uvažuje o revizi tohoto dokumentu v souvislosti se zaváděním nových evropských norem (Eurokódů) a tvorbou mezinárodních předpisů ISO.

Problematikou hodnocení existujících konstrukcí se zabývají tři nové nebo nově revidované mezinárodní dokumenty ISO [2,3,4]. Základní dokument [2] uvádí pouze stručné zásady pro hodnocení existujících konstrukcí. Tyto zásady dále rozvádí dokument [3], který je také hlavním podkladem předloženého příspěvku. Dokument [4] popisuje statistické postupy pro hodnocení stavebních materiálů a konstrukcí. Evropské předpisy (Eurokódy) se bohužel otázkou hodnocení existujících konstrukcí přímo nezabývají. Základní Eurokód [5] lze však použít i pro tyto účely, zejména ty části, které se zabývají navrhováním na základě zkoušek. Podrobnosti o zásadách a pravidlech uvedených v dokumentu [5] jsou popsány ve skriptech [6] a příspěvku [7] minulého ročníku této konference. Z řady dalších podkladů je třeba upozornit na knihu [8] a publikaci [9].

Metodika hodnocení existujících konstrukcí se v některých ohledech liší od postupu navrhování nových konstrukcí. Především je třeba přihlížet k vlivu vlastní výstavby a předchozího působení konstrukce, během kterého mohlo dojít k úpravám, degradaci materiálů, chybnému využívání konstrukce a k jiným změnám původně navržené nebo provedené konstrukce. Při hodnocení je proto vždy třeba vycházet ze skutečného stavu konstrukce. Podklady získané průzkumem je třeba vyhodnotit a účelně využít při ověřování spolehlivosti konstrukce. Celý postup se již mezinárodně natolik ustálil, že se stal předmětem nejen národních, ale i mezinárodních normových dokumentů. Předložený příspěvek shrnuje a porovnává některé zásady hodnocení existujících konstrukcí, které jsou uvedené v české normě [1] a v nových mezinárodních dokumentech [2,3,4].

Doc.Ing. Milan Holický, DrSc., zástupce ředitele

ČVUT v Praze Kloknerův ústav

Šolínova 7, 166 08 Praha 6

Tel.: 02/2435 3842

Fax: 02/2435 5232

E-mail: holicky@vc.cvut.cz

Základní zásady a postup hodnocení

V normě [1] se uvádějí dvě základní zásady pro hodnocení existujících konstrukcí:

- skutečné charakteristiky zatížení, materiálů a geometrických parametrů jsou rozhodující, dostupná projektová dokumentace se považuje pouze za nezávazný podklad,
- současně platné normy jsou rozhodující, ostatní předpisy a historické dokumenty platné v době výstavby konstrukce se považují pouze za nezávazné podklady.

První zásada má zajistit co nejpřesnější stanovení spolehlivosti konstrukce. Je přijata jak v normě [1], tak v mezinárodních dokumentech [2,3]. Druhá zásada má zajistit takovou spolehlivost existujících konstrukcí, která odpovídala spolehlivosti nově navrhovaných konstrukcí. Je požadována v normě [1], není však explicitně uvedena v dokumentech [3]. Při tvorbě tohoto dokumentu se totiž objevily názory, že je možno využít i jiných dokumentů (např. dostupné odborné literatury [8,9]), a nedospělo se k jednoznačnému závěru.

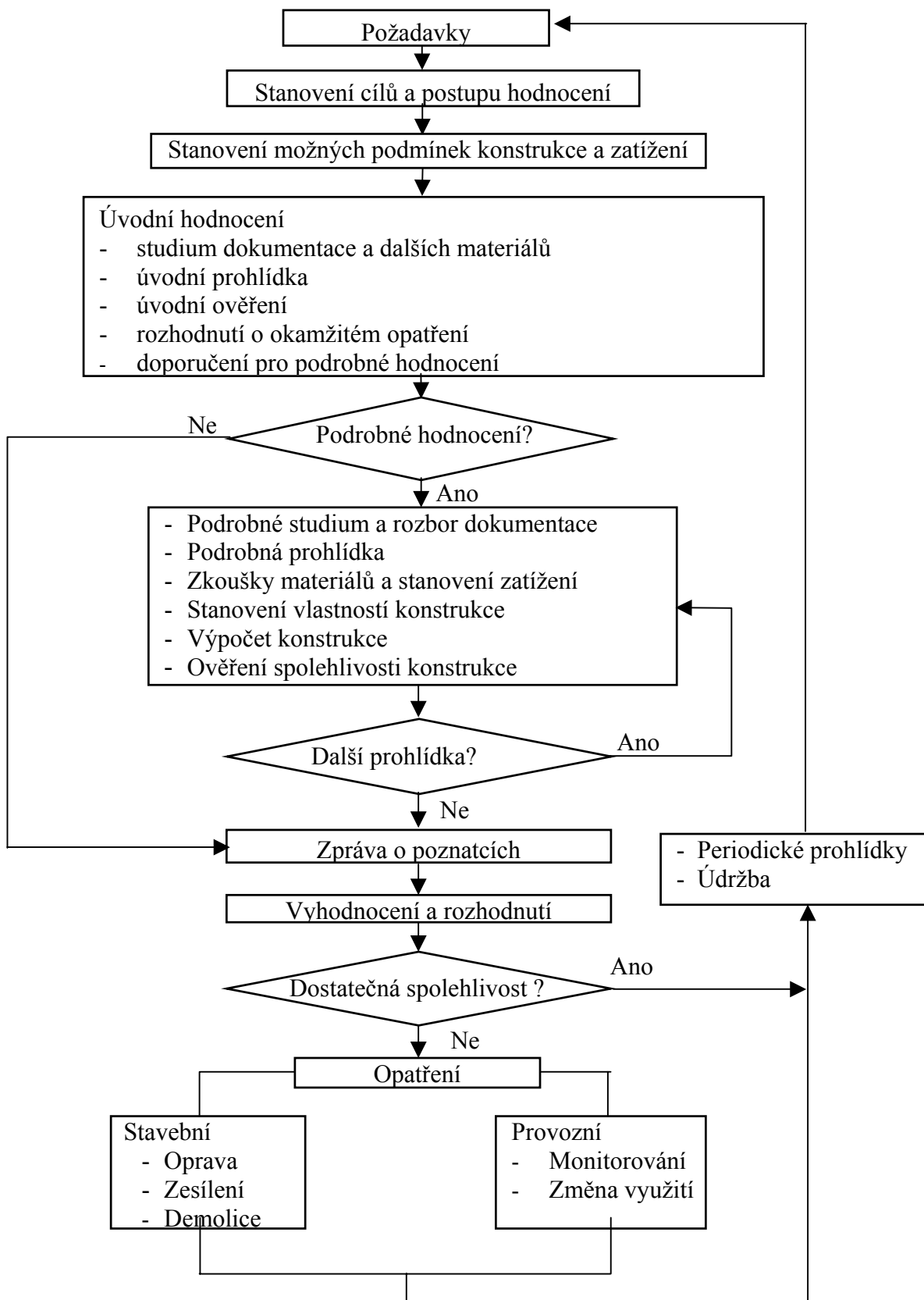
První zásada vede k požadavku prohlídky, popř. podrobného průzkumu konstrukce kdykoli je to možné. Praktické zkušenosti ukazují, že průzkum staveniště je vždycky užitečný nejen pro stanovení charakteristik základních veličin, ale i pro získání hlubšího pochopení skutečného stavu a chování konstrukce.

Podle normy [3], která čerpala z řady národních dokumentů včetně české normy [1], obsahuje celý postup hodnocení existujících konstrukcí následující kroky [3]:

- stanovení cílů hodnocení podle požadavků objednatele;
- stanovení možných podmínek konstrukce a zatížení;
- úvodní hodnocení:
 - studium dostupných podkladů;
 - předběžná prohlídka;
 - předběžné ověření spolehlivosti;
 - rozhodnutí o okamžitém opatření;
 - doporučení pro podrobné hodnocení;
- podrobné hodnocení:
 - podrobný průzkum dokumentace;
 - podrobný průzkum konstrukce;
 - zkoušky materiálů a stanovení zatížení;
 - stanovení vlastností konstrukce;
 - výpočet konstrukce;
 - ověření spolehlivosti konstrukce;
- zpráva zahrnující návrh pro stavební a provozní opatření;
- opakování celého postupu, je-li to potřebné.

Jestliže úvodní hodnocení ukazuje, že konstrukce je pro předpokládanou dobu zbývající životnosti dostatečně spolehlivá, podrobné hodnocení nemusí být nutné. Na druhé straně jestliže nelze na základě úvodního hodnocení prokázat, že spolehlivost konstrukce je vyhovující, je třeba přistoupit k podrobnému hodnocení, popř. nejdříve rozhodnout o okamžitých opatřeních.

Schematicky je celý postup hodnocení existujících konstrukcí naznačen na obrázku 1, ze kterého je zřetelně vidět, že jde zpravidla o cyklický proces, při kterém se některé kroky mohou několikrát opakovat.



Obrázek 1. Postup hodnocení existujících konstrukcí.

Průzkum konstrukce při podrobném hodnocení

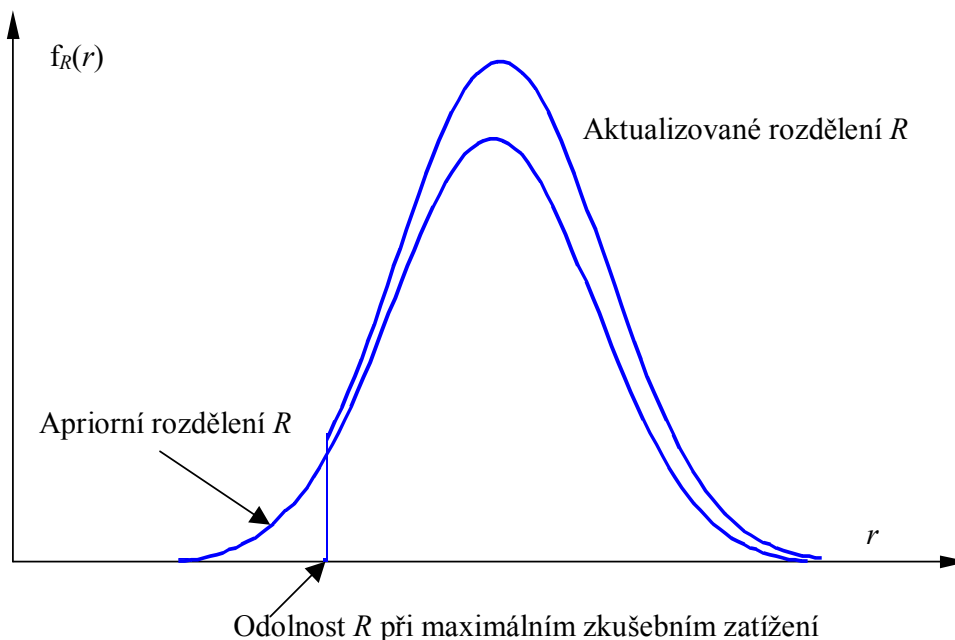
Cílem průzkumu konstrukce při podrobném hodnocení je ověřit a aktualizovat znalosti o stavu konstrukce s ohledem na řadu aspektů. Úvodní prohlídka zpravidla zahrnuje pouze vizuální, kvalitativní průzkum. Popis případného poškození konstrukce je často pouze verbální, např.: 'žádné, malé, nevýznamné, střední, závažné, kritické'. Rozhodnutí o stupni poškození závisí na zkušenostech odborníka a je někdy zcela intuitivní.

Hlubší poznatky o stavu konstrukce lze získat na základě (následného) kvantitativního průzkumu. Jak ukazuje obrázek 1, hodnocení existujících konstrukcí je často cyklický proces při kterém je úvodní prohlídka doplněna následnými, opakovanými průzkumy. Účelem opakovaných průzkumů je získat co nejúplnější poznatky o skutečném stavu konstrukce (zejména v případě poškození) a ověřit informace potřebné pro stanovení charakteristických a návrhových hodnot základních veličin. Pro všechny průzkumné postupy je třeba vždy uvést pravděpodobnost identifikace poruchy, jestliže existuje, a přesnost měřených dat. Záznam z průzkumu zpravidla zahrnuje:

- aktuální stav konstrukce;
- typy stavebních materiálů a zemin;
- pozorované poruchy;
- zatížení včetně vlivu prostředí;
- dostupnou dokumentaci.

Zvláštním typem průzkumu jsou zatěžovací zkoušky, jejichž cílem je stanovit:

- nosnou způsobilost zkoušených prvků při stanovených zatěžovacích podmínkách;
- nosnou způsobilost dalších prvků
- nosnou způsobilost při odlišných zatěžovacích podmínkách;
- chování celé konstrukce jako systému.



Obrázek 2. Aktualizace rozdělení odolnosti R při zatěžovací zkoušce.

Důsledek zatěžovací zkoušky je v prvním případě poměrně jednoduchý: hustota pravděpodobnosti odolnosti zkoušeného prvku je v hodnotě maximálního zkušebního zatížení prostě ukončena (useknuta), jak zachycuje obrázek 2. To však nelze jednoduše říci o rozdělení odolnosti ostatních prvků. Statistická dedukce je v těchto případech složitější a vyžaduje větší počet stejných zkoušek

na různých prvcích. Z obrázku 2 je však zřejmé, že zatěžovací zkoušky mohou činně přispět k aktualizaci odhadu spolehlivosti, zejména pro dostatečně vysoké hodnoty maximálního zatížení. To však může způsobit poškození konstrukce, a proto se nemůže příliš zvyšovat. Aby se předešlo poškození konstrukce, doporučuje se zvyšovat zatížení postupně a současně sledovat deformace. Měření deformací poskytuje rovněž informace o chování celé konstrukce.

Ověření spolehlivosti na základě měření základních veličin

Důležitým krokem průzkumu je měření základních veličin (např. pevnosti materiálů). Základní přístup k vyhodnocení získaných dat se v nových normách [2,3,4] opírá o Bayesovské postupy aktualizace poznatků o základních veličinách a spolehlivosti konstrukce na základě apriorních informací a nově získaných dat. Jde o náročný přístup, který se v naší normě [1] explicitně neuvádí a bude pro většinu inženýrů novinkou. Praktické uplatnění Bayesovské metody pro stanovení charakteristických a návrhových hodnot pevností materiálů uvádí příspěvek [7] uvedený na minulé konferenci Sanace 2000. Zde připomeneme jen základní koncepci. Při hodnocení existujících konstrukcí se uplatní dva rozdílné postupy:

- (1) Aktualizace pravděpodobnosti poruchy.
- (2) Aktualizace rozdělení pravděpodobnosti základních veličin.

Přímá aktualizace pravděpodobnosti poruchy (postup (1)) může být formálně zapsána základním vztahem teorie pravděpodobnosti:

$$P(F|I) = \frac{P(F \cap I)}{P(I)} \quad (1)$$

kde P značí pravděpodobnost, F lokální nebo celkovou poruchu, I informaci získanou průzkumem, \cap značí průnik (současný výskyt) dvou jevů. Informace I může spočívat ve zjištění, že trhliny u nosníku B jsou menší než u nosníku A. Příklady uplatnění rovnice (1) jsou uvedeny v nedávných publikacích [8,9].

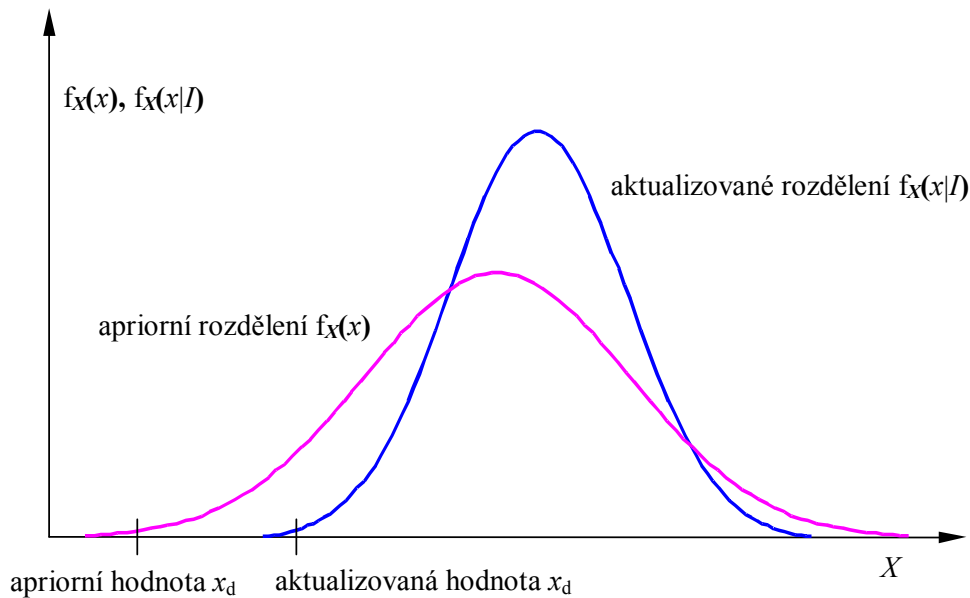
Postup (2) se uplatní při aktualizaci rozdělení pravděpodobnosti pevnosti materiálu X , kterou lze zapsat vztahem:

$$f_X(x|I) = C P(I|x) f_X(x) \quad (2)$$

kde $f_X(x|I)$ označuje aktualizovanou hustotu pravděpodobnosti veličiny X , $f_X(x)$ označuje hustotu pravděpodobnosti veličiny X před aktualizací, I je získaná informace, C normalizační konstanta a $P(I|x)$ je funkce pravděpodobnosti výskytu I za předpokladu, že $X = x$ (likelihood function).

Ilustrace uplatnění rovnice (2) je uvedena na obrázku 3. Všimněme si, že v tomto příkladu vede aktualizace k příznivějšímu rozdělení s vyšší návrhovou hodnotou x_d než poskytuje původní rozdělení. Je však třeba upozornit na skutečnost, že v některých případech může aktualizace vést k méně příznivému rozdělení než bylo původní (apriorní) rozdělení. Záleží na nově získaných datech, která nemusí být vždy na příznivé straně vzhledem k původnímu rozdělení.

Dále je třeba upozornit na důležitou podmínku, že kombinovat lze pouze homogenní data, o kterých máme dostatečnou jistotu, že pocházejí z jednoho základního souboru. Navíc je zpravidla nutné učinit další nezbytné předpoklady týkající se rozdělení odvozených statistik (viz [7,8,9]), a proto praktické využití celého postupu vyžaduje spolupráci odborníka.



Obrázek 3. Aktualizace hustoty pravděpodobnosti veličiny X .

Bayesovské postupy aktualizace rozdělení mohou být využity při stanovení charakteristických a návrhových hodnot základních veličin (kvantily příslušných rozdělení), které se uplatňují v metodě dílčích součinitelů, popř. při přímém porovnání účinků zatížení s požadovanými hodnotami (šířky trhlin, deformací). Podrobnosti lze najít v normě [4], příspěvku [7] a odborné literatuře [8,9].

Jestliže se podaří stanovit aktualizované rozdělení $f_X(\mathbf{x})$ vektoru základních veličin \mathbf{X} , lze aktualizovanou pravděpodobnost poruchy $P(F|I)$ stanovit s využitím běžných metod teorie spolehlivosti pro nové konstrukce. Symbolicky lze $P(F|I)$ zapsat ve tvaru

$$P(F|I) = \int_{g(\mathbf{x}) < 0} f_X(\mathbf{x} | I) d\mathbf{x} \quad (3)$$

kde $f_X(\mathbf{x}|I)$ označuje hustotu pravděpodobnosti a $g(\mathbf{x}) < 0$ oblast poruchy ($g(\mathbf{x})$ je funkce mezního stavu). Takto stanovená aktualizovaná pravděpodobnost poruch $P(F|I)$ nemá překročit směrnou hodnotu stanovenou v příslušných předpisech.

Praktickou modifikací předchozího postupu (postupu (2)) je stanovení návrhových hodnot základních veličin. Pro parametr odolnosti X se návrhová hodnota x_d stanoví na základě operativních vztahů uvedených v ISO 2394 [2]. Pro normální a lognormální rozdělení platí

$$x_d = \mu(1 - \alpha\beta V) \quad (4)$$

$$x_d = \mu \exp(-\alpha\beta \sigma - 0.5\sigma^2) \quad (5)$$

kde x_d je aktualizovaná návrhová hodnota veličiny X , μ aktualizovaný průměr, α váhový součinitel veličiny X , β směrná hodnota indexu spolehlivosti, V variační součinitel a $\sigma^2 = \ln(1+V^2)$.

Směrná hodnota indexu spolehlivosti β pro existující konstrukce se obecně může lišit (může být nižší) od směrné hodnoty pro nové konstrukce. Obecně by směrná hodnota pravděpodobnosti poruchy měla být stanovena na základě optimalizace s uvážením předpokládané zbytkové životnosti, která může být menší než návrhová životnost nových konstrukcí. Ta však často nevede k jednoznačnému závěru. Proto se zatím doporučuje použít stejné hodnoty β jako u nové konstrukce.

Samostatnou otázkou je doba zbytkové životnosti, která se má při ověření existující konstrukce uvažovat. Norma [3] doporučuje při ověření mezních stavů použitelnosti uvažovat stanovenou zbytkovou životnost, při ověřování mezních stavů únosnosti uvažovat návrhovou životnost pro nové konstrukce (u budov 50 let). Hodnota součinitele α se uvažuje stejně jako nových konstrukcí (0.7 pro dominantní zatížení, 0.8 pro dominantní veličinu odolnosti a 0.3 pro nedominantní veličiny [2]).

Alternativně lze stanovit nejdříve charakteristickou hodnotu x_k a vypočítat návrhovou hodnotu x_d na základě příslušného dílčího součinitele γ_m ze vztahu

$$x_d = x_k / \gamma_m \quad (6)$$

Pro normální a lognormální rozdělení veličiny X se charakteristická hodnota x_k stanoví ze vztahu

$$x_k = \mu(1 - kV) \quad (7)$$

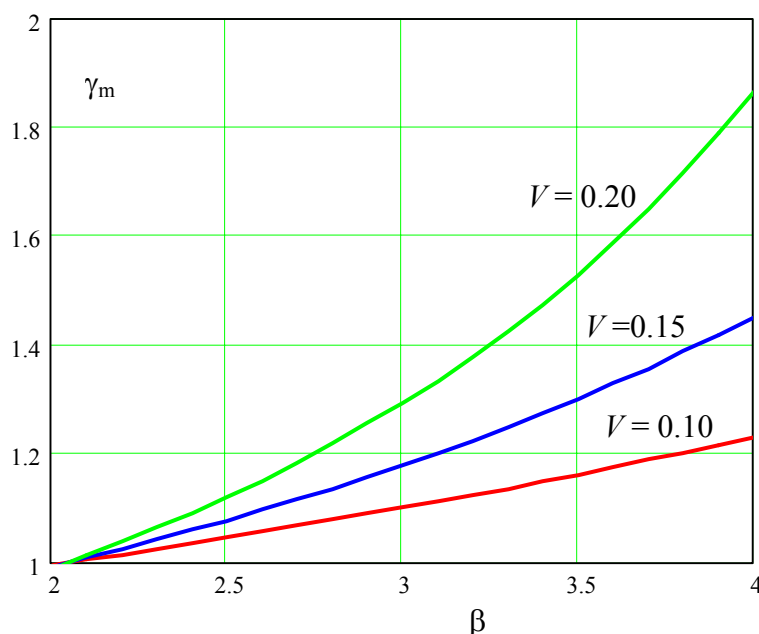
$$x_k = \mu \exp(-k\sigma - 0.5\sigma^2) \quad (8)$$

kde zpravidla $k = 1.64$ (5% kvantil standardizované normální veličiny). Druhý postup je méně citlivý na náhodné odchylky měřených veličin, a obecně se mu proto dává přednost. Užitečné však může být porovnání obou postupů. Předchozí postupy lze využít pro jakoukoli základní veličinu, pro geometrické veličiny a zatížení se však mohou uplatnit také další typy rozdělení (Gamma, Gumbelovo), které mohou lépe popisovat příslušnou základní veličinu.

Poznamenejme, že snížená úroveň spolehlivosti, která může být přijata pro mezní stavy použitelnosti a kratší zbytkovou životnost, může být vyjádřena redukovanou hodnotou indexu spolehlivosti β a příslušně redukovánými hodnotami dílčích součinitelů γ . Pro materiálovou vlastnost X popsanou normálním rozdělením je dílčí součinitel γ_m dán vztahem

$$\gamma_m = \frac{x_k}{x_d} = \frac{1 - kV}{1 - \alpha\beta V} \quad (9)$$

který je pro vybrané hodnoty V zachycen na obrázku 4 jako funkce indexu spolehlivosti β .



Obrázek 4. Dílčí součinitel materiálu γ_m v závislosti na indexu spolehlivosti β .

Vztah (9) vyplývá z předchozích vztahů (4), (6) a (7). Podobně lze dílčí součinitel γ_m vyjádřit na základě indexu spolehlivosti β pro lognormální a další typy rozdělení.

Z obrázku 4 plyne, že dílčí součinitel materiálu γ_m je výrazně závislý na uvažované hodnotě indexu spolehlivosti β . Jak bylo již uvedeno výše, pokud nejsou k dispozici věrohodné podklady doporučuje se index spolehlivosti uvažovat stejně jako u nových konstrukcí, tj. pro mezní stavy únosnosti u budov $\beta = 3,8$ [5]. Za tohoto předpokladu pro variační koeficient $V = 0,15$ (např. pro pevnost betonu) plyne z obrázku 4 dílčí součinitel materiálu $\gamma_m = 1,4$.

Závěrečná poznámka

Nové mezinárodní dokumenty pro hodnocení existujících konstrukcí se systematicky opírají o pravděpodobnostní metody teorie spolehlivosti. Úroveň spolehlivosti se proto soustavně popisuje pravděpodobností poruchy nebo indexem spolehlivosti. V porovnání s naší platnou normou nové mezinárodní předpisy proto přinášejí řadu nových postupů. Příspěvek pojednává zejména o těchto nových postupech:

- využití Bayesovských metod při aktualizaci informací o existující konstrukci,
- stanovení směrné úrovně spolehlivosti s přihlédnutím ke zbytkové životnosti,
- stanovení návrhových hodnot základních veličin pro směrnou úroveň spolehlivosti.

Je zřejmé, že nové postupy přinášejí do oblasti hodnocení existujících konstrukcí racionální postupy, které je vhodné zavést také v českých předpisech i běžné praxi. Uplatnění těchto postupů však není snadné a vyžaduje znalost některých zásad teorie spolehlivosti. Je proto účelné postupovat obezřetně a pokud možno ve spolupráci se specialisty v oblasti teorie spolehlivosti a matematické statistiky. S ohledem na žádoucí zavedení nových postupů hodnocení existujících konstrukcí se doporučuje platnou českou normu ČSN 73 0038 Navrhování posuzování stavebních konstrukcí v co nejkratší době revidovat.

Literatura

- [1] ČSN 73 0038, *Navrhování posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách*. ČSN 1986.
- [2] ISO 2394, *General principles on reliability for structures*. Geneve, Switzerland 1998.
- [3] FDIS 13822 (2001) *Basis for design of structures -Assessment of existing structures*. ISO, Geneva, Switzerland.
- [3] ISO 12491, *Statistical methods for quality control of building materials and components*. Geneve, Switzerland 1997.
- [5] ČSN P ENV 1991-1, *Zásady navrhování a zatížení konstrukcí. Zásady navrhování*. Praha, ÚNMZ, 1995 (transformace na EN 1990 má být ukončena v roce 2001).
- [6] HOLICKÝ M., *Zásady ověřování spolehlivosti a životnosti staveb*. ČVUT Praha, 1998.
- [7] HOLICKÝ M., *Stanovení návrhových hodnot materiálových vlastností na základě zkoušek. Sanace a rekonstrukce staveb 2000*. WTA CZ Praha, 326-332, 2000.
- [8] MELCHERS R.E., *Structural reliability analysis and prediction*. John Wiley & Sons, 2001.
- [9] ELLINGWOOD B.R., *Reliability-based condition assessment and LFRD for existing structures*. Structural Safety, 18 (2+3), 67-80, 1996.

Uznání

Tato studie je součástí řešení výzkumného záměru CEZ: J04/98:210000029 "Rizikové inženýrství a spolehlivost technických systémů" podporovaného prostředky MŠMT.