

# TRVANLIVOST - NÁKLADY - SPOLEHLIVOST KONSTRUKCÍ

## DURABILITY - COSTS - RELIABILITY OF STRUCTURES

**BŘETISLAV TEPLÝ**

*Příspěvek uvádí základní myšlenky moderních trendů ve stavebnictví, které hodnotí náklady v souvislosti s životností objektu, spolehlivostí a jejich optimalizací.*

*The paper presents the basic ideas concerning some new trends in building activities which assess the building costs in the view of the whole life, reliability and their optimisation.*

Již v úvodu se chci čtenáři omluvit, že v tomto příspěvku částečně opakují některé úvahy již několikrát zmiňované při jiných příležitostech (např. [1], [2]). Zdá se mi ale, že pronikání těchto zásad do praxe je velmi obtížné a seznámení co největšího počtu odborníků (projektantů, manažerů, investorů a též legislativní sféry!) s touto tematikou je potřebné. Jsem přesvědčen, že to může mít příznivé důsledky ekonomické, ekologické a v neposlední řadě též příznivý vliv na konkurenceschopnost českého stavebnictví.

Připomeňme nejprve základní evropský předpis v oblasti stavebnictví, kterým je *Směrnice Rady 89/106/EHS o stavebních výrobcích (Construction Products Directive – CPD)*. Účelem směrnice je zajistit sjednocení základních požadavků, kladených ve veřejném zájmu na stavební výrobky, a zajistit volný pohyb těchto výrobků v rámci Evropské unie a na území států, které s Uníí uzavřely dohodu „PECA“. Směrnice stanovuje základní požadavky na stavby, definuje technické specifikace a určuje zásady prokazování shody stavebních výrobků s těmito technickými specifikacemi (to může být naplněno buď splněním požadavků harmonizované evropské normy, nebo jiným technickým řešením, pokud je výrobce schopen prokázat a garantovat splnění požadavků příslušné směrnice jiným způsobem).

Směrnice CPD uvádí šest základních požadavků (od mechanické odolnosti až po úsporu energie); všechny tyto požadavky však mají být plněny po celou dobu „ekonomicky přiměřené životnosti“ a lze tedy říci, že nadřazeným či „sedmým“ základním požadavkem direktivy CPD je **trvanlivost**, resp. **životnost**. Vyplývá to ostatně i z dalšího dokumentu Evropské komise a Stálého výboru pro stavebnictví připojeného ke směrnici CPD, tj. z *Pokynu F: Trvanlivost a směrnice o stavebních výrobcích (CONSTRUCT 99/367)*.

Trvanlivost u stavebního výrobku není pouhou materiálovou vlastností, je vztažena ke schopnosti materiálů, prvků a systému zachovat specifické užité i jiné vlastnosti na požadované úrovni, během daného časového rozpětí a za daných *podmínek provozu a působení prostředí* (viz např. ISO 15686-1 [3]), tj. za běžné či projektem předpokládané údržby. Nepochybně jsou v těchto souvislostech ve hře i **ekonomická kritéria**.

### ŽIVOTNOST A SPOLEHLIVOST

Trvanlivost je obecný výraz pro schopnost odolávat degradaci vnějšími vlivy a opotřebením provozem. Výslednicí trvanlivosti všech komponentů je pak **životnost** stavebního prvku, konstrukce, objektu, která je vlastně *kvantifikací trvanlivosti* (vyjádřenou obvykle v rocích). Při projektování nové konstrukce hovoříme o *návrhové životnosti* a u konstrukce již provozované pak o *životnosti zbytkové*.

Při úvahách o životnosti a nákladech musí být brán ohled nejenom na výchozí podmínky, ale též na předpokládanou degradaci materiálů, konstrukčních prvků i celku v čase (vyvolané provozem a působením prostředí) a musí být uvažována též nutnost údržby, oprav, resp. výměny některých částí ve vztahu k *cenovým relacím*. To pak umožní objektivněji hodnotit a srovnávat alternativní řešení, příp. omezit riziko neplánovaných a neekonomických důsledků.

Po celou dobu životnosti musí být vždy zajištěna také potřebná/požadovaná míra **spolehlivosti** nosných prvků konstrukce a také konstrukce jako celku, která se hodnotí ve vztahu k *mezním stavům* – viz základní pravidla pro projektování konstrukcí [4]. Podle nich se porovnávají účinky zatížení s účinky odporu konstrukce i s ohledem na vlivy prostředí. Jako *míry spolehlivosti* se užívají alternativně index spolehlivosti  $\beta$  nebo pravděpodobnost poruchy  $p_f$ . Jejich návrhové hodnoty by měly být zaručeny po celou dobu životnosti nosné konstrukce.

Současné hodnocení životnosti a spolehlivosti často nebývá prováděno a ani Eurokódy, resp. příslušné ČSN k tomu nedávají jasné návody.

Správná prognóza životnosti i hodnocení spolehlivosti mohou být relativně složité úlohy, při jejichž řešení se uplatní množství faktorů. Některé z nich nemusí být předem dostatečně známy a řada z nich má *náhodný charakter*. Vzhledem k těmto nejistotám (náhodnostem) souvisejících veličin a jevů je potřebné dát přednost **pravděpodobnostním metodám** před postupy *deterministickými* [5].

### NOVÉ TRENDY V NAVRHOVÁNÍ

Problém trvale udržitelného života je v posledních létech zmiňován v mnoha oborech lidské činnosti, zejména činnosti průmyslové. Sem patří samozřejmě také stavebnictví, ale bohužel se nezdá, že by tímto směrem byla v ČR příliš zaměřena pozornost. Zejména ve vyspělých zemích se projevuje snaha o významné inovace ve stavebnictví: objekty, konstrukce a stavební výrobky se mají navrhovat a vyrábět s ohledem na jejich cílové, specifické užité vlastnosti (performance), tedy mj. s větším ohledem na přání zákazníka.

Pro podporu těchto myšlenek vznikl v roce 2001 velký mezinárodní projekt s názvem *„Performance – Based Building“* (PeBBu), o kterém bylo u nás již referováno např. v [1] a který je součástí 5. rámcového evropského programu. Zaměříme-li se pouze na oblast navrhování, pak se v rámci uvedeného trendu obvykle hovoří o přístupech *Performance-Based Design*, tj. o **navrhování konstrukcí s ohledem na užité vlastnosti**. Znamená to tedy např. navrhovat konstrukci dle potřeb a přání investora na specifickou životnost a nikoliv jenom na nominálních 50 let (u mostů 100 let); podobně u dalších vlastností konstrukce. Lze též pro úplnost uvést, že tyto přístupy patří do skupiny tzv. *Integrovaného navrhování* [6].

### CELKOVÉ NÁKLADY

Pod pojmem cena stavebního objektu si obvykle představujeme náklady spojené s jeho pořízením. Připomeňme ale, že v úvodu zmíněném Pokynu F se praví: *„Ekonomicky přiměřená život-*

nost předpokládá, že budou uvažována všechna příslušná hlediska, jako jsou: náklady na projekt, stavbu a užívání, provozní překážky, rizika a následky poruch, pojištění na pokrytí těchto rizik; náklady na kontrolní prohlídky, údržbu a opravy; odstranění stavby a hlediska ochrany životního prostředí“. Je tedy nutné uvažovat náklady celkové, které lze definovat jako

$$N_{\text{celk}} = N_{in} + N_k + N_m + N_p + p_1 \cdot N_1 + p_2 \cdot N_2 + p_3 \cdot N_3 + \dots \quad (1)$$

kde  $N_{in}$  náklady na záměr, projekt a výstavbu

$N_m$  náklady na údržbu

$N_k$  náklady na kontrolu či prohlídky (po celou dobu předpokládané životnosti  $t_l$  roků)

$N_p$  náklady na provoz objektu (vytápění, osvětlování, pojištění, během doby  $t_i$ )

$p_1 \cdot N_1$  náklady na opravy, které mohou nastat s pravděpodobností  $p_1$  (během doby  $t_i$ )

$p_2 \cdot N_2$  rekonstrukce, s pravděpodobností  $p_2$

$p_3 \cdot N_3$  odstranění stavby s pravděpodobností  $p_3$ .

Přítom pravděpodobnost  $p_i$  je obvykle totožná s příslušnou pravděpodobností poruchy a nejčastěji zde půjde o mezní stavy použitelnosti. Šestý člen rovnice (1), tj. náklady na rekonstrukce se nemusí vždy uplatnit; pravděpodobnost  $p_3$  se zřejmě bude vázat k meznímu stavu únosnosti a nejčastěji bude platit  $p_2 = p_3$ . Ve vztahu (1) mohou samozřejmě přistoupit ještě další sčítance typu  $p_i N_i$  (např. důsledky odstranění stavby a náklady spojené s recyklací materiálu, uložením odpadu apod.). Je potřeba připomenout, že cena peněz se v čase mění a je také náhodnou veličinou. Obvykle se to postihuje tak, že cenu v čase  $t$  uvažujeme jako

$$N(t) = N(1+r)^t \quad (2)$$

kde  $N$  je cena současná a  $r$  je diskontní sazba (procentní faktor), považovaná za náhodnou veličinu.

*Pozn. 1:* Nedávná studie ukázala překvapující údaj – hodnota  $N_{in}$  je v průměru (různé typy staveb v Evropě) jen asi 3% z  $N_{\text{celk}}$ . Je tedy skutečně nutné rozhodovat, projektovat a optimalizovat z pohledu celého období životnosti! Jinými slovy: vhodné investování do  $N_{in}$  (např. zvýšená izolace, zvýšené krytí výztuže a pod.) může v dlouhodobém horizontu přinést značné úspory. Ale tento pozitivní jev se může uplatnit již také v kratším období ve vztahu k  $N_k$ ,  $N_m$  a  $N_p$ .

*Pozn. 2:* V případech hodnocení stávajících konstrukcí se  $N_{in}$  nemusí uvažovat a ostatní složky celkových nákladů budou v takových případech vztaženy ke *zbytkové životnosti*.

*Pozn. 3:* Asi 50 % výdajů ve stavebním sektoru se týká údržby a oprav – viz [3]. V této souvislosti je zajímavé uvést v Holandsku tradované pravidlo „pětinásobku“: 1 gulden nerozumně uspořený v  $N_{in}$  znamená později výdaj 5 guldenů v  $N_m$ , resp. 25 guldenů v  $N_1$  nebo  $N_2$  [7].

Otázka *celkových nákladů* stavebních objektů a jejich praktická aplikace v plánování a projektování naráží na ochotu (či spíše neochotu) investorů, majitelů a provozovatelů ke komplexnějšímu a dlouhodobějšímu pohledu. Čím častěji se mění majitel nebo způsob a účel užívání objektu, tím méně je dlouhodobý pohled na náklady zajímavý. Jinými slovy – optimalizace nákladů nepochybně úzce souvisí s *typem majetnictví objektu* a jeho předpokládanou délkou. „Historie vlastnictví“ je u občanské stavby často velmi pestrá, ale např. u větších mostních staveb

#### Literatura:

- [1] Hájek P., Teplý B. a Křístek V.: „Trvale udržitelný rozvoj a betonové konstrukce“, Beton TKS 2002 , číslo 4 , str. 40–42
- [2] Teplý B.: „Navrhování betonových konstrukcí na užitné vlastnosti“, Sborník semináře Betonové konstrukce a udržitelný rozvoj, ČBS, Praha, 2004, s. 29–34
- [3] ISO 15686-1: Buildings-Service life planning. General principles, 2000
- [4] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí, ČNI, 2003
- [5] Teplý B. a Novák D.: „Spolehlivost stavebních konstrukcí“, Skriptum, Akad. Nakl. CERM, Brno, druhé vyd. 2004
- [6] Hájek P.: „Integrovaný návrh betonových konstrukcí“, sborník konf. Betonářské dny 2003, str. 451–455
- [7] Vesikari E.: „Service life of concrete structures with regard to corrosion of reinforcement“, Technical Research Centre of Finland, Research REP. 553, Espoo, 1988
- [8] HMSO 2000: „The new Treasury Procurement Guidance Note – No. 7“; „Whole Life Costs“. The HM Treasury, Her Majesty's Stationary Office, UK

je téměř vždy jen jeden majitel a také účel užívání se nemění po celou dobu životnosti. V takových případech by vlastník měl mít zájem **optimalizovat** náklady celkové, ne jenom ty okamžité. S tím ovšem souvisí také optimalizace spotřeb energie, materiálů a práce. To je zřejmě důvodem, proč se v zahraničí nejvíce vyvíjel a aplikoval „cost-effective life-cycle engineering“ (volně přeloženo „cenově efektivní inženýrství s ohledem na celkovou životnost; často se užívá též název „Whole-Life Costing“ – zkráceně WLC) právě v mostním stavitelství. V nedávných letech jsou tyto zásady však prosazovány obecněji – viz výše citované směrnice CPD a Pokyn F; že jde o nutnost potvrzuje též doporučení britských státních institucí [8]: státní zakázky nových i rekonstruovaných staveb mají být posuzovány z cenového hlediska celého životního cyklu!

Je vhodné též připomenout, že existuje jistý rozpor: dle CPD podléhají evropským technickým specifikacím *stavební výroby*, zatím co požadavky na *stavby* jsou předmětem stavebních řádů, tj. národních stavebních předpisů – ale stavba je souborem stavebních výrobků. Poznamenejme, že v poslední době se hovoří také o tom, že směrnice CPD mají být revidovány.

#### ZÁVĚR

Výše uvedené náměty by měly být v ČR – členu EU – také respektovány. Je to jistě podtrženo i skutečností, že stavebnictví spotřebovává asi 40 % energií a vytváří 40 % z celkového množství člověkem vyprodukovaných odpadů. Rozhodně by hlediska celkových nákladů měla být respektována nejdříve alespoň při *státních zakázkách*.

Cílem pro správný návrh, užívání a údržbu stavebního objektu tedy musí být stanovení a zabezpečení takové strategie, která by vedla k uspokojivé hladině spolehlivosti při nejnižších možných nákladech, při dodržení požadované životnosti a minimalizaci zátěže životního prostředí. Doposud se však při návrhu nových konstrukcí a při rozhodování o stávajících konstrukcích jen v omezené míře přihlíží k těmto hlediskům současně. Jak již bylo řečeno, často převládá snaha po snížení nákladů počátečních, bez ohledu na náklady další, což má zákonitě za následek zvýšení nákladů celkových. Nepochybně je účelná jistá *optima-*

lizace celkových nákladů, životnosti, spolehlivosti, využitelnosti konstrukce a environmentální šetrnosti.

Závěrem opakujeme, že bude vhodné přimět investory, projektanty a výrobce (legislativně a též např. daňovými úlevami), aby podřídili rozhodování a plánování *optimalizaci celkových nákladů*. S tím se pojí nepochybně také další otázky, jako je minimalizace spotřeby energie, využívání demontovatelných konstrukcí, problematika skládkování nebo recyklace materiálů z demolic (např. výrobu betonu s využitím recyklovaného kameniva).

Tento příspěvek byl vypracován za přispění Výzkumné centra CIDEAS (1M6840770001), financovaného MŠMT ČR.

Prof. Ing. Břetislav Teplý, CSc.

Fakulta stavební, VUT v Brně

Žižkova 17, 602 00 Brno

tel: 541 147 642, fax: 541 147 667

e-mail: [teply.b@fce.vutbr.cz](mailto:teply.b@fce.vutbr.cz)

[www.fce.vutbr.cz/CHE/teply.b/](http://www.fce.vutbr.cz/CHE/teply.b/)

