

# Betón ako materiál trvalo udržateľnej výstavby

V súčasnosti sa koncept trvalej udržateľnosti chápe komplexne ako prienik sociálneho, ekonomického, environmentálneho a inštitucionálneho hľadiska rozvoja spoločnosti. Tri najdôležitejšie aspekty sú ekonomika, spoločnosť a životné prostredie. Trvalo udržateľný rozvoj je taký rozvoj ľudskej spoločnosti, ktorý dokáže naplniť potreby súčasnej generácie bez toho, aby ohrozil splnenie potrieb nasledujúcich generácií.

Jednou z významných oblastí trvalej udržateľnosti je aj stavebníctvo ako odvetvie výrazne ovplyvňujúce aspekty trvalej udržateľnosti. Betón, jeden z najrozšírejších stavebných materiálov, má vo výstavbe svoje nezastupiteľné miesto (obr. 1). Je preto namieste predstaviť si ho vo svetle trvalej udržateľnosti.



**Obr. 1** Betonáž nosných konštrukcií polyfunkčnej stavby v Bratislave

## Životný cyklus stavby

Životný cyklus stavby je časové obdobie od začiatku jej realizácie cez jej odovzdanie do užívania a jej užívanie až po uplynutie času jej životnosti, respektíve do jej asanácie. Pod pojmom životnosť sa rozumie obdobie, počas ktorého vlastnosti stavby zostanú na úrovni zlučiteľnej so splnením základných požiadaviek. Inak povedané, ide o časový úsek od uvedenia stavby do prevádzky až po stav, keď požadované vlastnosti klesnú pod prijateľné minimum [1]. Životnosť stavieb sa vo všeobecnosti určuje už počas ich projektovania. Označuje sa ako návrhová životnosť, ktorá by sa mala dosiahnuť pri dodržaní podmienok dostatočnej a pravidelnej údržby (tab. 1). Existujú aj iné typy životnosti. Napríklad ekonomicky odôvodnená životnosť, ktorá zohľadňuje aj mieru vynaložených nákladov na údržbu a obnovu vzhľadom na predpokladaný úžitok a zisk zo stavby. Ďalším typom životnosti je morálna životnosť. Vyjadruje schopnosť stavby spĺňať meniace sa nároky na jej využitie najmä z hľadiska meniacich sa štandardov užívania a nárokov na komfort.

Životnosť stavby v akejkoľvek jej podobe predstavuje kľúčový parameter na dosiahnutie udržateľnej výstavby. V prípade monumentálnych pozemných stavieb

**Tab. 1** Návrhové životnosti stavieb [2]

Katégoria návrhovej životnosti	Predpokladaná návrhová životnosť (rok)	Príklad
1	10	dočasné konštrukcie
2	10 až 25	vymeniteľné časti konštrukcií, napríklad ložiská
3	15 až 30	poľnohospodárske konštrukcie
4	50	pozemné stavby a iné bežné konštrukcie
5	100	monumentálne pozemné stavby, mosty a iné inžinierske stavby

Poznámka: Konštrukcie, ktoré sú demontovateľné s cieľom opätovného použitia, sa nepovažujú za dočasné.

alebo inžinierskych stavieb stále pretrvávajú záujem o dosiahnutie najdlhšej možnej životnosti. Tieto stavby nepodliehajú morálnemu zastaraniu tak rýchlo ako občianske stavby. Pričom s vývojom spoločnosti sa životnosť občianskych stavieb zreteľne skraca. V snahe o ekonomicky efektívnu výrobu materiálov sa tomuto trendu prispôbuje aj životnosť stavebných materiálov. To má dosah na celkovú životnosť stavby. Obvykle je však morálne zastaranie rozhodujúce a budova alebo stavba ne-

stihne dosiahnuť svoju návrhová životnosť. Ešte predtým sa asanuje a nahradí novou, čo vyplýva zo spomínaného intenzívneho vývoja spoločnosti a technického pokroku. Treba si však uvedomiť, že každá nová výstavba so sebou prináša záťaž pre životné prostredie.

Trend skracovania životného cyklu stavieb, ako to už bolo naznačené, ovplyvňuje všetky tri najdôležitejšie aspekty životného prostredia – ekonomiku, spoločnosť a životné prostredie.



**Obr. 2** Nákupné centrum Eurovea Galleria

## Ekonomika

Dopyt po výstavbe generuje stavebnú produkciu, podporuje ekonomiku, čím sa zlepšuje aj životná úroveň spoločnosti (obr. 2). Výkon hospodárstva krajiny narastá a s ním aj stavebná produkcia. S rastúcou výkonnosťou hospodárstva sa následne zvyšuje spotreba. To priamo ovplyvňuje rozvoj výskumu a vývoja vo všetkých oblastiach a rozvoj spoločnosti.

## Spoločnosť

Vo všeobecnosti sa spoločnosť vyvíja rovnakým tempom ako poznanie. Je preto zrejmé, že s akýmkoľvek pokrokom v oblasti vedy a techniky (poznania ako takého) sa s určitým časovým odstupom spoločnosť prispôsobí novej situácii a adaptuje sa na nové, obvykle lepšie podmienky. Týmto krokom sa však predchádzajúca úroveň existencie stáva zastaranou. Súvisiaci spôsob života a technické zariadenia sa stávajú zastarané a v určitom čase vyprší ich morálna životnosť. Z hľadiska stavieb sa tak vytvorí dopyt po novej produkcii a kruh sa uzavrie.

## Životné prostredie

Na opačnej strane k obom predchádzajúcim aspektom stojí životné prostredie, treťou hlavnou stránkou udržateľnej výstavby. Všetky zabudované stavebné materiály, ich ťažba, výroba, transport, zabudovanie, údržba, neskôr aj odstránenie zo stavby a likvidácia pôsobia negatívne na životné prostredie. Zaťaženie nie je len primárne – spotreba energie, produkcia skleníkových plynov pri výrobe a transporte materiálov, ale aj sekundárne, spôsobené vznikom vedľajších produktov priemyselnej výroby, výrobou obalových materiálov alebo vznikajúce pri užívaní (energetická efektívnosť stavby) a asanácii stavieb.

## Životnosť ako kľúčový parameter

Životnosť stavieb v súčasnosti (a s vyhlídkami aj do budúcnosti) udáva prevažne morálna životnosť. Výnimkou sú rozsiahle inžinierske stavby alebo stavby s národným alebo s hospodárskym významom. Medzi prvky s krátkodobou životnosťou, ktoré zastarajú morálne najrýchlejšie, patria technologické zariadenia, prevádzkové súbory, inštalácie a nenosné konštrukcie. Nosné prvky a konštrukcie (prvky dlhodobej životnosti) zvyčajne vydržia počas celej návrhovej životnosti stavby a pri bežnej údržbe (ak nie sú vyslovene nevhodne navrhnuté, respektíve navrhnuté zastaraným spôsobom) môžu plniť svoju funkciu bez väčších zásahov. Jedným z najrozšírenejších stavebných materiálov na zhotovenie nosných konštrukcií je betón.

Betónové konštrukcie by mali v kontexte dlhodobej životnosti odolávať korózii. V bežnom chápaní sa koróziou rozumie korózia ocelových prvkov (obr. 3). Korózia betónu však predstavuje degra-



Obr. 3 Korodujúca ocelová výstuž (strmeň) stĺpa

dáciu vlastností betónu a/alebo zabudovaných výstužných prvkov postupujúcu smerom z povrchu konštrukcie dovnútra. Spôsobuje ju agresivita prostredia alebo rôzne fyzikálne, chemické či biologické činitele. Agresivita prostredia sa vyjadruje stupňami vplyvu prostredia, ktoré sú zadefinované v tabuľke 1 STN EN 206-1. Rozlišujú sa zásadne stupne:

- bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia (X0...),
- korózia vplyvom karbonatácie (XC...),
- korózia vplyvom chloridov, nie však z morskej vody (XD...),
- korózia vplyvom chloridov z morskej vody (XS...),
- striedavé pôsobenie zmrazovania a rozmrazovania s rozmrazovacími prostriedkami alebo bez nich (XF...),
- chemické pôsobenie (XA...).

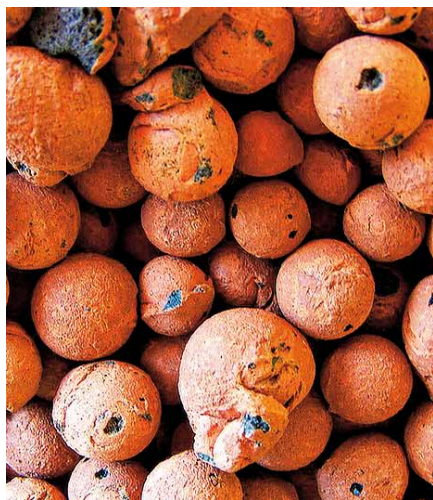
Na betónovú konštrukciu môže súčasne pôsobiť aj viacero stupňov vplyvu prostredia. Výsledné pôsobenie sa potom stanoví ako ich kombinácia. V závislosti od pôsobiacich stupňov vplyvu prostredia sa vzhľadom na bezpečnosť a trvanlivosť konštrukcie v tabuľke F.1 STN EN 206-1 uvádzajú odporúčané medzné hodnoty maximálneho vodného súčiniteľa, minimálneho obsahu cementu, minimálneho obsahu vzduchu a podobne. V prílohe F je stanovená aj vhodnosť použitia rôznych cementov v závislosti od konkrétneho stupňa vplyvu prostredia. Takisto sú napríklad v kapitole 4 STN EN 1992-1-1 definované špeciálne požiadavky na minimálnu hrúbku krycej vrstvy v závislosti od návrhovej životnosti, pevnostnej triedy, geometrie konštrukcie, trvanlivosti výstuže a triedy konštrukcie, ktorú podmieňuje aj stupeň vplyvu prostredia.

Cieľom udržateľnej výstavby a použitia betónu vo výstavbe by malo byť dosiahnutie dlhkej životnosti, teda odolnosti proti korózii všeobecne. Betón má v tomto smere výrazný potenciál. Je totiž kompozitom plniva, spojiva, vody, prísad či prímiesí. Ich vlastnosti a vzájomné pomery vytvárajú široké spektrum možných vlastností betónu.

## Hľadisko životnosti a udržateľnosti betónu

Betón sa vyznačuje viacerými špecifikami. V stavebníctve je charakteristický vysokou spotrebou, vo väčšej miere sa spotrebúva už len voda. [8] Asi 70 % jeho objemu tvoria materiály, ktoré sa získavajú priamou ťažbou zo zeme. Zvyšný objem pochádza taktiež zo zeme, no vzniká zamiešaním cementu (vyrobený z vápence) a vody. Zložky betónu nemajú charakter nerastného bohatstva a sú dostupné prakticky všade. Betón preto možno považovať za typického reprezentanta takzvaných lokálnych materiálov. Všetky jeho zložky sa získavajú na pomerne malom území a na krátke vzdialenosti sa dopravujú do výroby betónu. Vyrobený betón sa následne z betonárni dopravuje na miesto určenia. Transportné vzdialenosti sú obmedzené začiatkom tuhnutia betónu. Od dostupnosti jednotlivých zložiek betónu závisí minimalizovanie nákladov na transport a súvisiaca spotreba ropných derivátov, respektíve množstvo emisií CO<sub>2</sub>, pochádzajúcich z dopravy.

Zloženie betónu sa navrhuje podľa požiadaviek na určité úžitkové vlastnosti. Spravidla je kompromisom medzi určitými parametrami a cenou alebo parametrami vlastností navzájom. Približne dve tretiny objemu betónu tvorí plnivo. Zvyšnú tretinu objemu zaberá cementový tmel (spojivo). Výsledné vlastnosti betónu ovplyvňu-



Obr. 4 Lahké (pórovité) kamenivo

jú v rovnakej miere obidve zložky, aj keď vo všeobecnosti prevláda názor, že cementový tmel je slabšia zložka. Je to čiastočne pravda. Obvykle má nižšiu pevnosť a zvyčajne je aj zložkou náchylnejšou na poškodenie nesprávnou výrobou alebo spracovaním. Obidve zložky betónu však disponujú potenciálom na dosiahnutie udržateľnosti výstavby betónových konštrukcií. Ako kamenivo, tak aj cement možno v betóne nahradiť či už recyklovaným materiálom, alebo vedľajšími produktmi priemyselnej výroby (obr. 4).

Kamenivo, prevažne s hrubšími frakciami, možno nahradzovať v určitej miere (približne 20 až 30 %) drveným recyklovaným betónom. Benefity sú jasné. Zníži sa skládokovanie materiálu z asanovanej konštrukcie a spotreba hrubého kameniva v čerstvom betóne. Nevýhodou však zostáva energeticky náročná potreba strojného drvenia. Hutné kamenivo v betónoch sa však môže nahradiť aj inými druhmi kameniva. V niektorých prípadoch sa na získanie špeciálnych vlastností betónu používajú kamenivá s vysokým obsahom oxidov kovov (vysoká objemová hmotnosť). Slúžia na vytváranie konštrukcií, ktoré majú zabrániť prieniku radiácie. S obľubou sa však využívajú aj materiály, naopak, s nižšou objemovou hmotnosťou. Výsledkom sú vylahčené konštrukcie (s veľkým rozpätím) alebo konštrukcie s vylepšenými tepelnoizolačnými parametrami, či dokonca konštrukcie s predĺženou životnosťou vďaka špeciálnej technológii takzvaného samošetovania. Cement v betóne neplní len funkciu spojiva, ale v akomsi prenesenom význame má aj ochrannú funkciu. Z hľadiska ocelevej výstuže umožňuje jej pasiváciu pôsobením alkality vytvoreného prostredia, teda ochranu proti korózii. Vhodným výberom cementu (podľa typu konštrukcie a stupňov vplyvu prostredia) možno redukovať alebo eliminovať negatívne javy skraccujúce životnosť. V niektorých prípadoch možno predĺžiť životnosť napríklad kompenzovaním zmršťovania, ktoré by inak viedlo

k tvorbe mikro- až makrotrhlín, ku karbonatácii, k prieniku chloridov alebo iných látok a ku korózii.

Predstavitelia cementárskeho priemyslu sa snažia v cemente zvýšiť podiel zložiek iných ako slinok (priemerný slinkový faktor v cemente v krajinách EÚ je rovný hodnote 0,8 – slinok tvorí 80 % z celového množstva zložiek cementu). Nahradzovanie slinok druhotnými surovinami (materiálmi) alebo vedľajšími produktmi pochádzajúcimi z iných priemyselných odvetví, akými sú granulovaná vysokopečná troska z oceliarskeho priemyslu, popolček z uhoľných tepelných elektrární a prírodné puzolány alebo vápence z kameňolomov, prispieva k zníženiu objemu vytvoreného  $\text{CO}_2$  v cementárskom priemysle (obr. 5). Toto zníženie závisí od množstva použitých druhotných surovín (materiálov). [11] Rovnako prispieva k zníženiu energetickej náročnosti a environmentálneho zaťaženia pochádzajúceho z výroby cementu.

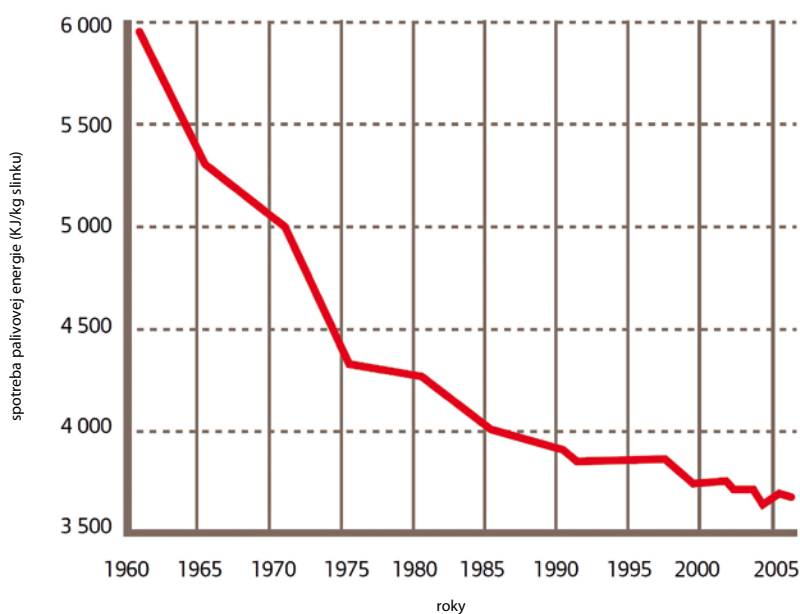
Látky uvoľnené do ovzdušia z cementárskej pece pochádzajú z fyzikálnych a chemických reakcií surovín a zo spaľovania paliva. Hlavnými zložkami plynov unikajúcich z cementárskej pece sú  $\text{CO}_2$  (oxid uhličitý),  $\text{NO}_x$  (oxid dusný) a  $\text{SO}_2$  (oxid siričitý). Unikajúce plyny obsahujú aj malé množstvá chloridov, fluoridov, oxidu uhoľnatého a ešte menšie množstvá organických zlúčenín a ťažkých kovov. Cementový prach obsiahnutý v unikajúcich plynoch z cementárskych pecí sa odstraňuje pomocou filtrov. Emisie  $\text{CO}_2$  súvisia tak so surovinami, ako aj s energiou. Emisie súvisiace so surovinami sa vytvárajú počas dekarbonizácie vápence ( $\text{CaCO}_3$ ) a približne 60 % sa podieľajú na celkových emisiách  $\text{CO}_2$ . Emisie súvisiace s energiou vznikajú dvoma spôsob-

mi: priamo – spaľovaním paliva a nepriamo – používaním elektrického prúdu. Spotreba energie v cementárskom priemysle sa za posledných 50 rokov výrazne znížila. Možno to pripísať modernizácii výrobných zariadení vo výrobných závodoch a zmenám v technologických procesoch. [11]

Energia spotrebovaná v budovách sa podieľa na celkovej konečnej spotrebe energie v Európe významnou mierou až štyridsiatimi percentami. Ide o vyššiu spotrebu ako je spotreba energie v doprave, v priemyselných odvetviach alebo vo výrobných odvetviach, ktoré sú druhým a tretím najväčším spotrebiteľom energie v Európe. Dve tretiny energie spotrebovanej v budovách v rámci Európy predstavuje energia spotrebovaná domácnosťami. Jej spotreba vzhľadom na rastúci životný štandard každý rok rastie. Významnou mierou k tomu prispieva používanie klimatizačných a vykurovacích systémov.

Tepelnú ochranu vnútorného prostredia budov (je definovaná ako základná požiadavka na stavby) možno zlepšiť znížením tepelnej vodivosti pomocou vhodného zloženia betónu. Realizuje sa to spravidla pridaním, respektíve nahradením časti hutného kameniva ľahkými plnivami a/alebo zvýšením pórovitosti cementového tmeľu. Je však na zváženie, či je takýto prístup opodstatnený. Zlepšenie tepelnoizolačných vlastností konštrukcií možno totiž dosiahnuť pridaním dodatočnej tepelnej izolácie, namiesto neúmerneho zvyšovania hrúbky betónovej konštrukcie na úkor jej pevnosti.

Iný prístup predstavuje využitie betónu na zníženie teplotných výkyvov v budove a odstránenie spotreby energie nutnej na prevádzku energeticky vysokonároč-



Obr. 5 Vývoj spotreby energie na výrobu cementu/slínku [11]

ných klimatizačných systémov. Betónové steny a podlahy sú efektívnymi akumulátormi tepla, absorbujú bezplatné teplo pochádzajúce počas dňa zo slnka a uvoľňujú toto teplo počas noci. Betón uchováva teplo v zime a chladí budovy v lete. Tak sa vytvárajú optimálne podmienky tepelnej pohody pre obyvateľov.

## Záujem o udržateľnosť

V súčasnosti sa udržateľnosti výroby betónu prisudzuje veľký význam. Napríklad v Americkom betonárskom inštitúte vznikla komisia 130 – Udržateľnosť betónu. Pracuje v nej sedem subkomisií. Pri medzinárodnej organizácii pre štandardizáciu vznikla technická komisia TC 71/SC 8 – Environmentálne manažérstvo betónu a betónových konštrukcií. Pripravujú sa nové normy zavádzajúce základné pravidlá na výpočet vplyvov na životné prostredie ISO 13 315-2. Rovnako sa pripravujú aj normy:

- ISO 13315-3: Zložky a výroba betónu,
- ISO 13315-4: Environmentálny návrh betónových konštrukcií,
- ISO 13315-5: Zhotovovanie betónových konštrukcií,
- ISO 13315-6: Užívanie betónových konštrukcií,
- ISO 13315-7: Ukončenie životnosti vrátane recyklovania betónových konštrukcií,
- ISO 13315-8: Značky a deklarácie.

Záujem o udržateľnosť výstavby sa primárne prejavuje v každej oblasti stavebníctva individuálne. V inžinierskom stavitelstve sa hlavný záujem musí sústrediť na maximalizáciu životnosti a primárne znížovanie emisií CO<sub>2</sub>, zatiaľ čo v pozemnom stavitelstve sa význam prisudzuje aj tepelnotechnickým parametrom betónových konštrukcií, pričom maximálna životnosť vzhľadom na predpokladané morálne opotrebovanie nie je dominantná.

## Záver

Všeobecne deklarovaný záujem o udržateľnosť výstavby, aj betónových konštrukcií, zrejme nadobúda konkrétnu podobu. Presadzovanie záujmu aj o environmentálnu zložku z hľadiska súčasnosti a budúcnosti sa zakotvuje do národných legislatívnych a technických normatívnych systémov. Možno predpokladať, že práve v prípade betónu sa budú hľadať rezervy v efektívnosti získavania zložiek, výroby, transportu a jeho spracovania. Zrejme sa budú skúmať aj ďalšie možnosti na uplatnenie vedľajších produktov z priemyselnej výroby v betónových konštrukciách tak, aby sa zlepšili alebo aspoň zachovali jeho celkové úžitkové vlastnosti.

**TEXT: Ing. Peter Briatka, PhD.,  
doc. Ing. Peter Makýš, PhD.,**

FOTO: archív autorov

Ing. Peter Briatka, PhD., je výskumným pracovníkom v TSÚS Bratislava so špecializáciou na technológiu zhotovovania betónových konštrukcií.

Doc. Ing. Peter Makýš, PhD., pôsobí na Katedre technológie stavieb Stavebnej fakulty STU v Bratislave.

## Literatúra

1. STN EN ISO 8402: 1996: Manažérstvo kvality. Slovník.
2. STN EN 1990: 2009: Eurokód. Zásady navrhovania konštrukcií.
3. Štřan, S.: Life cycle assessment budov, TZB-Info.cz, 2012.
4. Trávník, I., a kol.: Ekonomika stavebného podniku, Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2003.
5. <http://www.understanding-cement.com/autoclaved-aerated-concrete.html>
6. Bajza, A. – Rouseková, I.: Technológia betónu, Bratislava: JAGA GROUP, 2006.
7. Bilčík, J.: Obnova panelových budov – 2 Životnosť a trvanlivosť, Bratislava, 2007.
8. Sakai, K. – Buffenbarger, J.: Concrete Sustainability Forum IV, Concrete International, Vol. 34, No. 3, American Concrete Institute, Farmington Hills, 2012.
9. STN EN 206-1: 2002: Betón. Časť 1: Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda.
10. STN EN 1992-1-1: 2005: Eurokód 2. Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre pozemné stavby.
11. Výhody trvalej udržateľnosti betónových konštrukcií, SAVT preklad z originálu podľa: Jacobs, J. P. – European Concrete Platform.
12. Briatka, P. – Makýš, P.: Ošetrovanie čerstvého betónu – 3. Nasiaknuté ľahké kamenivo, Praha: Beton TKS č. 3, 2010, s. 40 – 45.
13. Choate, W. T.: Energy and Emission Reduction Opportunities for the Cement Industry, U. S. Department of Energy, 2003.