

METODIKA HODNOCENÍ TRVALÉ UDRŽITELNOSTI BETONU

METHODOLOGY FOR THE ASSESSMENT OF CONCRETE SUSTAINABILITY

Tomáš Vymazal, Břetislav Teplý,
Pavla Rovnaníková

Předkládaný příspěvek je zaměřen na kvantifikaci trvalé udržitelnosti spojené s používáním různých druhů betonu s ohledem na jejich odolnost proti působení degradačních vlivů; součinitelé trvalé udržitelnosti se přitom stanovují také pomocí údajů o životnosti a tzv. ekonákladech. Cílem je představit vhodnou metodologii, která může usnadnit rozhodování o návrhu a volbě směsi pro výrobu betonu z širšího pohledu, tj. nejen z hlediska únosnosti či životnosti.

■ The paper focuses on quantification of sustainability as pertains to the use of different types of concrete with regard to their resistance to degradation, while sustainability coefficients are determined by using data on life cycle and what is known as eco-costs. The goal is to construct a methodology which would facilitate easier decisions about the design and choice of concrete mixture in broader terms, i.e. not only in terms of load-bearing capacity or service life alone.

Pro potřeby poučeného managementu trvalé udržitelnosti ve stavebnictví je nutno používat efektivní nástroje umožňující kvantifikaci, resp. měření či srovnávání variant materiálových, technologických i konstrukčních. Mezi takové nástroje rozvíjející se v posledních letech celosvětově patří různé indikátory, indexy, certifikáty, srovnávací ukazatele, audity, posouzení a další systémy využívající příp. různé databáze. V ideálním případě musí být zahrnuta současně oblast ekonomická, ekologická i socio-kulturní. Takový nástroj může sloužit též jako významná marketingová pomůcka a podpora při přechodu na tzv. cirkulární ekonomiku; nepochybně se jedná také o politická témata.

U nás je pro takové komplexní hodnocení bytových a administrativních budov známý nástroj SBTool [1], který předmětnou budovu multikriteriálně (včetně spotřeby energií a hodnocení emisí) hodnotí na určité bodové stupnici. K tomu se mj. využívají postupy hodnocení životního cyklu (LCA – Life Cycle Assessment, [2]) a stanovuje se tzv. certifikát kvality, což představuje jistou kvantifikaci.

LCA je metoda posuzování životního cyklu stavebního díla, produktu ne-

bo služby z hlediska jeho působení na životní prostředí. V úvahu bere procesy počínaje těžbou nerostných surovin přes dopravu, výrobu a používání až ke konečnému zpracování jako odpadu (recyklace); přitom zohledňuje energetické a surovinové náklady a dopad na životní prostředí v celém životním cyklu. Důležitá jsou zejména hlediska emisí do ovzduší, vody i půdy a spotřeba energie a materiálů, tj. hodnotí se tím také tzv. ekologická stopa. Ekonomická hodnocení se samozřejmě též týkají životního cyklu a jedná se tedy o hodnocení nákladů životního cyklu (Life Cycle Costing – LCC), resp. komplexněji o hodnocení všech nákladů a užitek (Whole Life Costing – WLC) (též ISO 15686-5) [3]. LCC či WLC však obvykle nezahrnují náklady související s působením stavby na životní prostředí.

Další vývoj LCA směřoval také k multiparametrickému hodnocení konstrukce v jejím celoživotním cyklu (ILCA – Integrated Live Cycle Assessment, [4]), které vyžaduje jisté předdefinování životnosti a podmínek, za kterých bude konstrukce existovat z hledisek aspektů trvalé udržitelnosti, tj. životního prostředí, ekonomických i sociálních.

Vzhledem k tomu, že často dochází k nedorozumění při hodnocení životního cyklu staveb (mnohdy i v odborné komunitě), uvádíme ještě v tab. 1 schematické znázornění hlavních možností ve vztahu k fázím výstavby a uživatelským zkratkám.

Při hodnocení trvalé udržitelnosti je kromě výše uvedené definice znám také širší pohled „net-green“ [5], při němž se rozhoduje a hodnotí mj. i to,

zda je v daném případě navrhovaný rozsah, rozměr, technologie nebo typ materiálu vůbec nutný či dobře zdůvodněný. V našem příspěvku, který je zaměřen úzce jen na hodnocení receptur betonu, se těmito otázkami nezabýváme.

Výše zmíněné multikriteriální hodnocení budov či velkých konstrukcí a kvantifikace jejich trvalé udržitelnosti (TU) je nutně zatíženo různými nejistotami, prognózami a odhady. Proto může být užitečné zaměřit pozornost nejprve na dílčí úlohy, tj. hodnotit a srovnávat postupně TU materiálů, technologií, prvků a konstrukcí, kdy úloha nemusí být tolik ovlivněna nejistotami a nepřesnostmi.

V tomto příspěvku navrhujeme jednoduchý postup zaměřený na jednu dílčí fázi, tj. na kvantifikaci TU druhů betonu či betonových konstrukčních prvků s ohledem na jejich odolnost proti působení degradačních vlivů. Cílem je představit vhodnou metodologii, která může usnadnit rozhodování o návrhu; při takovém posuzování se může přihlížet k různým vlastnostem materiálu či prvku a k jejich životnosti prostřednictvím výsledků experimentálních měření nebo výpočtů pomocí modelů. V tomto smyslu se tedy jedná o přístup obecnější, než jaký poskytuje LCA. Na příkladech je to zde aplikováno pro volbu receptur pro výrobu betonu z širšího pohledu. Prezentovaný příspěvek je rozšířením nedávné publikace autorů [6].

Jiné souvislosti hodnocení životního cyklu a trvalé udržitelnosti betonových konstrukcí jsou pojednány např. v [3], [7], [8], [9].

Tab. 1 Schematické znázornění hlavních možností hodnocení životního cyklu ■

Tab. 1 Schematic representation of the main possibilities of the life cycle assessment

Fáze	0	1	2	3
	Těžba, zpracování materiálů	Příprava, projekt a provedení stavby	Provozování stavby vč. údržby a oprav	Demolice, recyklace, odstranění, skládkování
LCC			Live Cycle Costing [ISO 15686 – 5] Náklady životního cyklu stavby	
WLC			Whole Life Costing [ISO 15686 – 5] Náklady a výnosy životního cyklu stavby	
EIA			Environmental Impact Assessment Hodnocení vlivu stavby na obyvatelstvo a životní prostředí	
LCA	Live Cycle Assessment [2] Posuzování životního cyklu stavby z hlediska působení na životní prostředí, tj. posouzení TU			
ILCA	Integrated Life Cycle Assessment [3] Multiparametrické hodnocení konstrukce v jejím celoživotním cyklu			

KVANTIFIKACE POMOCÍ SOUČINITELE TRVALÉ UDRŽITELNOSTI

Definice součinitelů

Obecně lze (s využitím definice dle [10]) potenciál trvalé udržitelnosti kvantifikovat prostřednictvím vztahu:

$$\Omega = \frac{\text{životnost} \times \text{výkon}}{\text{dopad na ŽP}} = \frac{LR}{E} \quad (1)$$

V tomto vztahu „výkon“ (performance R) představuje např. únosnost, deformovatelnost, odolnost proti degradaci, resp. další vlastnosti materiálu či konstrukčního prvku v odpovídajících jednotkách. Životnost je obvykle udávána v rocích a její definice je popsána v následujícím odstavci. Veličina E , **dopad na životní prostředí**, je popsána obvykle součtem údajů zahrnujících např. svázané emise různého druhu, spotřeby energií, opotřebení aj. Je zřejmé, že se může jednat o veličiny rozličných jednotek, které je tedy vhodné transformovat na společné jednotky, umožňující pak sloučení všech dopadů do jedné hodnoty E . Obvykle se jedná o finanční jednotky a hovoří se o tzv. **ekonákladech** (eco-costs), které např. dle [2] představují náklady na opatření pro **redukcí dopadů na životní prostředí na udržitelnou úroveň**. Blíže je to popsáno v kapitole Ekonáklady při použití betonu. Zejména veličina R tak přispívá k velkému množství možných druhů jednotek potenciálu Ω , což není z praktických hledisek vhodné a ztěžuje to hodnocení a kvantifikaci trvalé udržitelnosti. Autoři proto navrhnou jednoduchý postup pro kvantifikaci TU pomocí bezrozměrných veličin. Při tomto postupu se každá z veličin L , R a E vždy dělí zvolenou referenční hodnotou (ve stejných jednotkách) a aplikují se ve vztahu (1). Výsledná, takto normalizovaná veličina je bezrozměrná a vhodná pro hodnocení (kvantifikaci) trvalé udržitelnosti. Je to tzv. součinitel trvalé udržitelnosti k_{TU} , který se vypočítá dle vztahu:

$$k_{TU} = \frac{\frac{LR}{E_{ref}}}{E_{ref}} \quad (2)$$

Pomocí součinitele k_{TU} lze kvantifikovat TU i v dílčích případech, tj. při rozhodování o použití určitého materiálu nebo technologického či konstrukčního řešení. Důležitým a nutným aspektem při tomto postupu jsou:

- znalosti o životnosti předmětného materiálu či konstrukce v podmínkách daného prostředí a provozu,
 - rozhodnutí o tom, která stadia životního cyklu pro stanovení výkonu (performance) je nutno v daném případě uvažovat,
 - rozhodnutí o způsobu a intenzitě dopadu na životní prostředí a jeho vyjádření pomocí finančních jednotek.
- Zaměříme-li se pomocí vztahu (1) nebo (2) na kvantifikaci TU konstrukčního betonu, pak se pro zjednodušení nemusí uvažovat některé aspekty „výkonu“ v rámci životního cyklu, např. fáze odstranění konstrukce na konci její životnosti a sociální, kulturní a politické aspekty.

V častých případech posuzování vhodnosti navrhované receptury pro výrobu betonu s ohledem na odolnost proti degradaci (např. karbonatace, působení chloridů, mrazové cykly) je obvykle tato odolnost přímo svázána s **životností** – např. známe-li odolnost betonu proti karbonataci, pak lze s pomocí hloubky krytí výztuže stanovit životnost, chápanou jako dobu do možného započetí koroze výztuže (tzv. iniciační perioda).

Další zlepšení tohoto postupu je možno provést pomocí **pravděpodobnostního přístupu**, tzn. tak, že jednotlivé veličiny ve vztahu (1) nebo (2) budeme považovat za náhodné veličiny se známým rozdělením pravděpodobnosti (jak je to např. pro úlohy životnosti betonových konstrukcí použito v [11]) s tím, že výstupem budou hodnoty statistických parametrů k_{TU} , příp. rozdělení pravděpodobnosti této veličiny. Dojde-li v budoucnu při dalším rozvoji posuzování trvalé udržitelnosti ve stavebnictví např. k doporučení jistých mezních hodnot součinitelů TU, umožní pak pravděpodobnostní metody získání dalších informací a možnosti srovnání, např. hodnotit pravděpodobnost P_{TU} , s kterou by mohla být překročena jistá mezní (přijatelná) hodnota součinitele trvalé udržitelnosti.

Poznamenejme, že pomocí hodnoty takové pravděpodobnosti lze též kvantifikovat riziko (součin P_{TU} a hodnoty důsledků dosažení takové situace). Při pravděpodobnostním postupu lze také provádět citlivostní studie (opět [11]), tj. oceňovat vliv jednotlivých vstupních veličin na k_{TU} .

Postupům a možnostem omezení dopadu betonových konstrukcí na životní prostředí je věnován *fib* Bulletin 67 [7], který představuje také environmentál-

ní indikátory založené na „výkonnosti“ materiálu či konstrukčního prvku. Jedná se ale jen o indikátory ve vztahu k pevnosti (únosnosti) nebo tepelněizolačním schopnostem materiálu; zcela se opomíjí hledisko trvanlivosti (životnosti).

Mimo hodnocení či kvantifikace TU je obvykle užitečné provést také srovnání **ekonomické**, např. alespoň porovnáním cenové náročnosti jednotlivých řešení. Lze to provést podrobněji tak, že hodnotíme tzv. ekoúčinnost či ekoefektivnost (eco-efficiency, např. [12]), kdy se pracuje nikoliv jen s cenou, ale s „hodnotou“, která zahrnuje obecně i další obchodní vlastnosti (kvalitu, servis a další) a ekonáklady. Přitom se též používá tzv. EVR indikátor (Eco-costs/Value Ratio).

Některé zahraniční práce řeší tuto problematiku jako úlohu optimalizace jisté cenové funkce a funkce svázaných emisí za podmínky minima těchto emisí (obvykle jen CO_2) pro specifické železobetonové prvky či konstrukce. Alternativně je možné při hodnocení ekonákladů použít cenu **emisních povolenek**, kde se jedná zejména o emise CO_2 .

Současně uvedme, že potřeba navrhování konstrukcí s ohledem na TU je obsažena i v základní normě o spolehlivosti konstrukcí [13], kde je v článku 4.2.1 takový požadavek vysloven a je zdůrazněno současně i hledisko životnosti. Také mezinárodní dokument *fib* Model Code 2010 [14] je založen na performance-based navrhování betonových konstrukcí a uvádí jako tři základní kategorie výkonnosti (performance): použitelnost (tj. též životnost), bezpečnost a trvalou udržitelnost. Vzájemná provázanost těchto veličin ale v dokumentu doposud pojednána není, je to však připravováno pro další novou verzi *fib* Model Code [9]. Přitom je zřejmé, že aspekty použitelnosti jsou vázány hlavně na přání klienta/uživatele, zatímco bezpečnost a TU jsou posuzovány s ohledem na požadavky celé společnosti. Důležitou roli hraje vždy životnost: mezní stavy únosnosti a použitelnosti musí být splněny po celou dobu životnosti a při posuzování TU je znalost/odhad životnosti taktéž nezbytný.

Obecně platí, že k redukcí svázané energie či ekonákladů vede navrhování staveb s dlouhou životností, adaptabilitou, s účelným výběrem použitých materiálů a se správnou údržbou, renovacemi či výměnami částí.

Životnost

Údaj o životnosti je ve výše uvedených souvislostech významný. Existuje sice řada definic této veličiny, např. z pohledů technických, provozních, smluvních či ekonomických, ale v případech hodnocení železobetonových konstrukcí je i v rámci posuzování trvalé udržitelnosti vhodné pracovat s definicí dle dokumentu *fib Model Code 2010* [14], kde je životnost popsána pomocí:

- relevantních mezních stavů,
- počtu let,
- úrovně spolehlivosti (tj. pravděpodobností dosažení mezního stavu, která nemá být překročena v průběhu této periody).

Jedná se takto o životnost technickou, tj. návrhovou, resp. zbytkovou (dle toho, zda se hodnotí nová či stávající konstrukce); rozhodující je druh mezního stavu a hodnota mezní pravděpodobnosti. K jejímu určení bude často nutno využít modelování degradace materiálů v čase (pomocí nástrojů popsaných v [11]) nebo alespoň odhady životnosti konstrukce či objektu, např. pomocí faktorové metody [4].

Ekonáklady při použití betonu

Ekonáklady představují náklady na opatření pro redukcí emisí na udržitelnou úroveň (např. dle [2]); existuje však řada dalších přístupů a definic, jak je shrnuto v [15]. Často jsou jistým způsobem zahrnuty i politické a regionální otázky.

Mezi environmentální kategorie v těchto souvislostech obecně patří potenciály globálního oteplování, ozonu, emise kyselinotvorných plynů, eutrofizace, ukládání odpadu ad.

Odpovídající ekologická kritéria při hodnocení dopadů betonového stavitelství na životní prostředí jsou pak zejména svázané emise CO₂, SO₂, NO_x, svázaná energie, spotřeba a znečištění vody, odpady, ale také potenciální recyklovatelnost. V širším pohledu sem patří také lidská práce, opotřebením zařízení a další náklady, pro které se používá označení „nepřímé“ ekonáklady. „Přímé“ ekonáklady jsou náklady tvořené mezními preventivními náklady odpovídajícími nákladům, které by měly být vynaloženy na odstranění následků znečištění, vyčerpání materiálů a energie [15]. Tyto preventivní ná-

klady nejsou doposud plně (pokud vůbec) integrovány do tvorby cen produktů, hovoří se např. o ekotaxách apod., ale je to spíše politické téma, kterým se zde nezabýváme.

Z výše uvedených složek lze samozřejmě v různých příkladech použít jenom některé (nejčastěji se sleduje vliv CO₂); při hodnocení ekonákladů je tak alternativně možné použít cenu emisních povolenek. Emisní obchodování je nástroj motivující ke snižování emisí skleníkových plynů co nejefektivnějším způsobem. Subjekty, které mají možnost redukovat emise s nižšími náklady, mohou uspořené emisní povolenky nebo jiné emisní kredity prodat těm, u nichž by taková redukce byla nákladnější. Obchod s emisními povolenkami v ČR má v gesce Ministerstvo životního prostředí, ceny emisních povolenek monitoruje Energetický regulační úřad (ERÚ).

Ekonáklady se tedy liší od běžných, tradičně chápaných ekonomických položek staveb.

Vratné efekty CO₂ a recyklace betonu

V souvislosti s hodnocením svázaných emisí CO₂ je zajímavé připomenout dvě skutečnosti:

- oxid uhličitý proniká difuzí do pórů betonu, omítky a malty a chemickými procesy je postupně zabudován do struktury materiálu. V odborné literatuře je s odvoláním na zahraniční studie uvedeno, že 43% CO₂ emitovaného při výrobě cementu (bez započítání CO₂ ze spalování fosilních paliv) bylo v období mezi roky 1930 a 2013 pohlceno zpět cementovými materiály (karbonatice). Pochopitelně přitom záleží mj. také na ploše povrchu, který je v kontaktu s atmosférou, na koncentraci CO₂, která je různá v různých lokalitách a v čase narůstá (blíže např. [16]), a zejména na mikrostruktuře betonu,
- část starších betonových prvků/konstrukcí může být v průběhu času recyklována, tj. použita např. jako kamenivo do méně hodnotných betonů (resp. při pečlivém třídění částečně i do betonů pro nosné konstrukce), což přispívá k úsporám těžby, přípravy přírodního kameniva, a tedy přispívá k TU.

Zahrnutí těchto dvou efektů při hodnocení/srovnávání TU receptur betonu je velmi různorodé, záleží na místních podmínkách, často je i méně významné, a proto k nim není v příkladech v tomto příspěvku přihlíženo.

Tab. 2 Složení betonů ■ Tab. 2 Composition of concrete

Složky [kg/m ³]	Beton A	Beton B	Beton C
CEM I 42,5 R	389	290	290
Kamenivo 0–4 mm	812	812	812
Kamenivo 8–15 mm	910	910	910
JMS Štramperk (3 800 m ² /kg)	–	–	194
Popílek Dětmorovice	–	194	–
Voda	161	182	160

Tab. 3 Uhlíková stopa ■ Tab. 3 Carbon footprint

Složky	Uhlíková stopa a ekonáklady	Beton A	Beton B	Beton C	Zdroj	
CEM I 42,5 R	uhlíková stopa (718 kg CO ₂ /t)	[kg CO ₂ /m ³ betonu]	279	208	208	[17]
	ekonáklady (0,109 €/t)	[€/m ³ betonu]	42,4	31,6	31,6	
Struska	uhlíková stopa (445 kg CO ₂ /t)	[kg CO ₂ /m ³ betonu]	–	–	107	[15]
	ekonáklady (0,069 €/t)	[€/m ³ betonu]	–	–	13,4	
Popílek	uhlíková stopa (388 kg CO ₂ /t)	[kg CO ₂ /m ³ betonu]	–	75	–	[15]
	ekonáklady (0,060 €/t)	[€/m ³ betonu]	–	11,6	–	
Kamenivo	uhlíková stopa (17 kg CO ₂ /t)	[kg CO ₂ /m ³ betonu]	29	29	29	[15]
	ekonáklady (0,007 €/t)	[€/m ³ betonu]	12,1	12,1	12,1	
Součet	uhlíková stopa	[kg CO ₂ /m ³ betonu]	318	312	344	
	ekonáklady	[€/m ³ betonu]	54,5	54,3	57,1	

Tab. 4 Parametry betonů a výsledné hodnoty součinitelů k_{TU} ■

Tab. 4 Concrete parameters and resulting k_{TU} coefficient values

Vlastnost	Beton A	Beton B	Beton C
Krychelná pevnost po 60 dnech [MPa]	71,9	47,2	70,5
Životnost [roky] ^{*)}	125	73	151
Ekonáklady [€/m ³]	54,5	54,3	57,1
k _{TU} dle (2)	1	0,385	1,130

^{*)} střední hodnota doby do dosažení depasivace výztuže při hodnotě krycí vrstvy 30 mm, stanoveno pomocí FReET-D [11], model Carb4b při aplikaci k = 0,4 pro beton B a k = 0,6 pro beton C. Přitom byly jako další vstupní podmínky uvažovány typické hodnoty obsahu CO₂ v ovzduší 820 mg/m³ a RH = 70 %.

HODNOCENÍ RŮZNÝCH DRUHŮ BETONU

Příklad I

V tomto příkladu je ukázán výpočet a srovnání hodnot součinitelů trvalé udržitelnosti k_{TU} pro tři různé betony s využitím vztahu (2), přitom zde jako „výkon“ slouží hodnota pevnosti betonu v tlaku, tj. jedna ze základních vlastností konstrukčního betonu. Životnost je zde stanovena s ohledem na karbonataci betonu, tj. při dosažení depasivace výztuže. Složení betonů je patrné z tab. 2 a bylo převzato z prací řešených na FAST VUT v Brně spolu s výsledky zkoušek pevnosti. Složky dopadu na životní prostředí jsou uvedeny v tab. 3, parametry betonů vč. odpovídajících hodnot k_{TU} dle vztahu (2) pak v tab. 4; byly vypočítány pro volbu referenčních hodnot rovných odpovídajícím hodnotám pro beton A, tj. $L_{ref} = L_A$, $R_{ref} = R_A$ a $E_{ref} = E_A$.

Jak vyplývá z hodnot k_{TU} v tab. 4, tj. z výsledků výpočtu pomocí vztahu (2), je z pohledu trvalé udržitelnosti nejvhodnější receptura C přesto, že má poněkud vyšší ekonáklady než varianty A a B; je zřejmé, že značný vliv zde sehrává životnost.

Příklad II

V následujícím příkladu je ukázán vý-

Tab. 5 Složení betonů ■ Tab. 5 Composition of concrete

Složky [kg/m ³]	Beton A	Beton B	Beton C	Beton D	Beton E
CEM I 42,5 R	389	301	301	301	301
Kamenivo 0–4 mm	812	812	812	812	812
Kamenivo 8–15 mm	910	910	910	910	910
Zeolit Zeobau 200	–	88	44	44	44
JMS Štramperk	–	–	44	–	–
Elektrárenský popílek	–	–	–	44	–
Mikromletý vápenec	–	–	–	–	44
Voda	140	168	161	164	161

Tab. 6 Parametry betonů ■ Tab. 6 Concrete parameters

Vlastnost	Beton A	Beton B	Beton C	Beton D	Beton E
Krychelná pevnost po 90 dnech [MPa]	63	58	67	56	62
Odpad po 100 cyklech [g/m ²] [18]	120	400	560	220	1380
Cena emisní povolenky CO ₂ [Kč/m ³ betonu]	62,5	55,1	55,3	55,3	54,7
k_{TU} dle (2)	1	0,313	0,257	0,548	0,098

počet a srovnání hodnot součinitelů trvalé udržitelnosti k_{TU} pro skupinu pěti různých betonů, jejichž receptury se liší použitou příměsí. Složení betonů je popsáno v tab. 5 a bylo převzato z [18] spolu s výsledky experimentálního testování vlivu mrazových cyklů. „Výkon“ je zde opět představován pevností betonu v tlaku (střední hodnota), ale „životnost“ zde zastupuje závislost mezi počtem mrazových cyklů a hodnotou odpadu betonu povrchové vrstvy.

V tab. 6 jsou uvedeny pevnosti v tlaku a výsledky zkoušek podle [18], [19],

tj. hodnoty odpadu p_a při 100 zmrazovacích cyklech. Při výpočtu k_{TU} použijeme jako „životnost“ $L = 1/p_a$ (což zajistí, aby vyšší hodnota této pseudoživotnosti vedla k větší hodnotě k_{TU} , jako u případů s běžnou životností). Dopad na životní prostředí je zde pro zjednodušení uvažován pomocí ceny povolenek; bylo tedy opět možno využít vztah (2) a stanovit tak hodnoty koeficientů k_{TU} , přitom jako referenční hodnoty byly uvažovány odpovídající hodnoty pro beton A.

Ze srovnání hodnot koeficientů k_{TU} vyplývá, že z hlediska trvalé udržitel-

Literatura:

- [1] Národní certifikační nástroj pro vyjádření úrovně kvality budov [on-line]. [cit. 2017-09-25]. Dostupné z: <http://www.sbtool.cz>
- [2] fib Bulletin No. 28. *Environmental design*. Lausanne, Switzerland: International Federation for Structural Concrete (fib), 2004.
- [3] ČSN ISO 15686. *Budovy a jiné stavby – Plánování životnosti – Části 1 až 8*. Praha: ÚNMZ, 2014.
- [4] fib Bulletin No. 71. *Integrated life cycle assessment of concrete structures*. Lausanne, Switzerland: International Federation for Structural Concrete (fib), 2013.
- [5] ZINK, T., GEYER, R. There is No Such Thing as a Green Product. *Stanford Social Innovation* [on-line]. Dostupné z: https://ssir.org/articles/entry/there_is_no_such_thing_as_a_green_product
- [6] TEPLÝ, B., VYMAZAL, T., ROVNANÍKOVÁ, P. Úvod k úloze kvantifikace trvalé udržitelnosti v betonovém stavitelství. In: *Sborník konference 24. Betonářské dny 2017, Litomyšl*. ČBS ČSSI, 2017. ISBN 978-80-906759-0-2
- [7] fib Bulletin No. 67. *Guidelines for green concrete structures*. Lausanne, Switzerland: International Federation for Structural Concrete (fib), 2012.
- [8] HÁJEK, P., FIALA, C. Hodnocení životního cyklu betonových konstrukcí. *Beton TKS*. 2015, roč. 15, č. 5, s. 3–7.
- [9] SAKAI, K. Sustainability in fib Model Code 2010 and its future perspective. *Structural Concrete*. 2013, Vol. 14, No. 4, p. 301–308.
- [10] MÜLLER, H. S. Sustainable structural concrete – from today's approach to future challenge. *Structural Concrete*. 2013, Vol. 14, No. 4, p. 299–300.
- [11] TEPLÝ, B., NOVÁK, D. Predikce degradace betonových konstrukcí výpočtním modelováním. *Beton TKS*. 2014, roč. 14, č. 2, s. 56–57.
- [12] HENDRIKS, CH. F., VOGTLÄNDER, J. G., JANSSEN, G. M. T. The eco-cost ratio: A tool to determine the long-term strategy for delinking economy and environmental ecology. *WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering. Ecodynamics – The Prigogine Legacy*. 2011, Vol. 51, p. 257–269. WIT Press.
- [13] ČSN ISO 2394. *Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí*. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [14] fib Bulletin No. 65 and 66. *fib Draft Model Code 2010*. Lausanne, Switzerland: International Federation for Structural Concrete (fib), 2012.
- [15] *Design-4-Sustainability.com* [on-line]. [cit. 2017-09-25]. Dostupné z: www.design-4-sustainability.com/ecocosts
- [16] XI, F. et al. Sustainable global carbon uptake by cement carbonation. *Nature Geoscience*. 2016, 9, p. 880–883.
- [17] Svaz výrobců cementu ČR – data 2016. svcement.cz [on-line]. [cit. 2018-01-25]. Dostupné z: <https://www.svcement.cz/data/data-2016>
- [18] SEDLMAJER, M., HUBÁČEK, A., ROVNANÍKOVÁ, P. Vlastnosti betonu s využitím přírodního zeolitu a běžně používaných příměsí do betonu. In: *Sborník konference Technologie betonu*. 2014, s. 35–40.
- [19] ČSN 73 1326. *Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1985.
- [20] VOŘECHOVSKÁ, D., ŠOMODÍKOVÁ, PODROUŽEK, J., LEHKÝ, D., TEPLÝ, B. Concrete structures under combined mechanical and environmental actions: Modelling of durability and reliability. *Computers and Concrete*. 2017, Vol. 20, No. 1, p. 99–110. ISSN 1598-8198

nosti je v tomto případě nejvýhodnější beton A, následován recepturami D, B a C. V případě receptury A nejsou sice použity žádné příměsi částečně nahrazující portlandský cement, ale jeho odolnost proti působení mrazu je výrazně vyšší než u ostatních betonů srovnávané skupiny. Z hlediska nákladů na emisní povolenky dominují betony s příměsí zeolitu. Beton s označením E nelze hodnotit, neboť v tomto příkladu nevyhověl požadavkům stanoveným Ministerstvem dopravy ČR.

ZÁVĚRY

Příspěvek uvádí pomocný nástroj managementu trvalé udržitelnosti umožňující její kvantifikaci a porovnání variant receptur pro výrobu betonu jistých vlastností, s důrazem na otázky trvanlivosti. Jsou představeny jednoduché vztahy pro tzv. součinitele trvalé udržitelnosti k_{TU} , ve kterých vystupují život-

nost, výkonnost a ekonáklady. Definice ekonákladů může mít více podob a složek, stanovení jejich finančního vyjádření je pro uživatele obtížné, pokud se nemůže opřít o vhodnou databázi či další zdroje. Dodejme, že cílem úlohy je porovnat navzájem varianty ze skupiny vyšetřovaných betonů a nikoliv přímo stanovit hodnotu trvalé udržitelnosti. Představená metodika může být použita pro širokou škálu aplikací při uvažování působení různých degradačních efektů či jejich kombinací, pokud jsou k dispozici vhodné metody měření jejich účinků či vhodné výpočetní modely [20]. Je možné hodnotit nejenom receptury betonu, ale stejným postupem je možno hodnotit např. i konstrukční železobetonové prvky.

Závěrem je nutno také uvést, že dva představené příklady mají jen ilustrovat postup při aplikaci popsané metodiky kvantifikace trvalé udržitelnosti a jejich výsledky nelze zobecňovat.

Článek byl vytvořen v rámci řešení projektu č. LO1408 „AdMaS UP – Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ podporovaného MŠMT v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“ a grantu GAČR č. 17-14302S „Experimentální analýza objemových změn cementových kompozitů v raném stádiu tuhnutí“.

doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.
Fakulta stavební VUT v Brně
Ústav stavebního zkušebnictví
e-mail: tomas.vymazal@vutbr.cz



prof. Ing. Břetislav Teplý, CSc.
Fakulta stavební VUT v Brně
Ústav stavební mechaniky
e-mail: teplý.b@fce.vutbr.cz



prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc.
Fakulta stavební VUT v Brně
Ústav chemie
e-mail: rovnanikova.p@fce.vutbr.cz



Text článku byl posouzen odborným lektorem.
The text was reviewed.

NÁVOD NA POUŽITÍ BETONU

Svaz výrobců betonu ČR společně s evropskou organizací ERMCO připravil „Všeobecný (základní) návod na použití betonu“. Návod je volně k dispozici na webu eBeton na adrese www.ebeton.cz/pojmy/navod.

1. DEFINICE

1. Beton je materiál ze směsi cementu, hrubého a drobného kameniva a vody, s přísadami, příměsmi, s vlákny nebo bez nich, který získá své vlastnosti hydratací cementu.

2. BEZPEČNOST

1. Beton obsahuje pojivo na bázi cementu. Beton obsahuje nebezpečné látky – cementový (portlandský) slínek, odprašky z výroby portlandského slínku apod.
2. Beton může v čerstvém stavu způsobit vážné poškození očí, podráždění kůže, alergickou kožní reakci, podráždění dýchacích cest apod.
3. Při práci s čerstvým betonem vždy používejte ochranné prostředky: vodotěsné rukavice, ochranný oděv (pro celé tělo), vodotěsnou a dostatečně vysokou obuv, ochranné brýle nebo obličejový štít.
4. PŘI ZASAŽENÍ OČÍ: Několik minut opatrně oplachujte vodou. Jsou-li



Kvalitní beton zajistí
jen týmová práce

VŠEOBECNÝ (ZÁKLADNÍ) NÁVOD NA POUŽITÍ BETONU

SVAZ VÝROBCŮ BETONU ČR
Ready-mix Concrete Producers Association of the Czech Republic

ERMCO

- nasazeny kontaktní čočky a je-li to možné, vyjměte je. Pokračujte ve vyplachování. Okamžitě volejte TOXIKOLOGICKÉ INFORMAČNÍ STŘEDISKO nebo lékaře.
5. PŘI STYKU S KŮŽÍ: Omyjte velkým množstvím vody a mýdla. Při podráždění kůže nebo vyrážce vyhledejte lékařskou pomoc.
6. PŘI VDECHNUTÍ: Přeneste postiženého na čerstvý vzduch a ponechte jej v klidu v poloze usnadňující dýchání. Necítí-li se dobře, volejte TOXIKOLOGICKÉ INFORMAČNÍ STŘEDISKO nebo lékaře.
7. Kontaminovaný oděv svlékněte a před opětovným použitím vyperte.

8. Bezpečnostní riziko pomine po zatvrdnutí betonu.
9. Podrobnější údaje naleznete v bezpečnostním listu každého výrobce betonu.

3. POUŽITÍ

1. Beton je možné použít jen k účelu, ke kterému je určen projektovou dokumentací nebo příslušnými technickými normami.
2. Beton je materiál, který získá požadované vlastnosti až po ztvrdnutí. Aby je skutečně získal, musí být čerstvý beton včas dopraven a uložen do konstrukce, ztuhnutí a ošetřování.

Pokračování v příštím čísle.