

# PRINCIPY UDRŽITELNOSTI V NAVRHOVÁNÍ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ A JEJICH IMPLEMENTACE V *fib* MODEL CODE 2020

Petr Hájek

Mezinárodní federace pro konstrukční beton *fib* (International Federation for Structural Concrete) dokončuje nový Model Code pro navrhování betonových konstrukcí. Již od počátku práce bylo rozhodnuto zahrnout do něj širší aspekty udržitelnosti, které se staly zastřešujícím principem uplatňovaným v jednotlivých oblastech návrhu, provozu i rekonstrukce betonových staveb. Článek informuje o implementaci principů udržitelnosti do tohoto nového *fib* Model Code 2020 (MC2020).

## SUSTAINABILITY PRINCIPLES IN DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES AND THEIR IMPLEMENTATION IN *fib* MODEL CODE MC2020

The International Federation for Structural Concrete (*fib*) is finalizing a new Model Code. From the very beginning of the work, it was decided to include broader aspects of sustainability, which became the overarching principle applied in the individual areas of design, operation and reconstruction of concrete buildings. The article informs about the implementation of sustainability principles into this new *fib* Model Code 2020 (MC2020).

Udržitelnost je globálním cílem udržitelného rozvoje zaměřeného na zajištění kvalitního života na Zemi pro stávající i budoucí generace. Budovy, infrastruktura a celé vystavěné prostředí by měly být lépe připraveny na nové podmínky – měly by být udržitelné a resilientní, tj. dlouhodobě odolné a přizpůsobivé novým situacím. Současný vývoj a změny v životním prostředí a v socioekonomické situaci vyžadují nová technická řešení pro výstavbu, rekonstrukce a modernizace staveb. Aktuálnost těchto přístupů se v poslední době umocňuje i s ohledem na válečnou situaci na Ukrajině a na zemětřesení v Turecku a Sýrii. Beton se z tohoto pohledu může stát stavebním materiálem s velkým potenciálem pro nová technická řešení splňující nové požadavky, vedoucí k potřebnému snížení dopadů na životní prostředí a současně ke zlepšení sociálních a ekonomických podmínek, včetně bezpečnosti a spolehlivosti v případech mimořádných situací.

Článek přináší informaci o implementaci principů udržitelnosti do nového *fib* Model Code 2020 (MC2020). Jde o iniciativu mezinárodní organizace *fib* (International Federation for Structural Concrete) k dosažení cílů udržitelného rozvoje (SDGs – sustainable development goals) stanovených Organizací spojených národů v roce 2015 jako akční plán do roku 2030.

### Východiska

Svět čelí zvyšujícímu se počtu přírodních katastrof a narůstajícím hospodářským a sociálním problémům. Hlavními příčinami této situace jsou růst populace a globální oteplování v důsledku rychle rostoucího množství skleníkových plynů v atmosféře během posledních dvou set let.

V roce 2022 přesáhla světová populace 8 miliard lidí. To představuje 3,2násobný nárůst od roku 1950. Během stejného období se emise CO<sub>2</sub> zvýšily více než 6krát, světová průměrná teplota se zvýšila o 1 °C a počet zaznamenaných přírodních katastrof se zvýšil 15krát [1]. Celá společnost, resp. všechny národy, musí podniknout kroky ke zpomalení tohoto trendu a přizpůsobit se novým přírodním a sociálním podmínkám. K dosažení vytyčených cílů je zásadní zavést udržitelnost a odolnost jako nejdůležitější principy ve všech lidských činnostech.

V roce 1987 definovala Světová komise pro životní prostředí a rozvoj ve zprávě Naše společná budoucnost [2] princip udržitelného rozvoje jako „rozvoj, který uspokojuje potřeby současnosti, aniž by ohrozil schopnost budoucích generací uspokojovat své vlastní potřeby“. V roce 2015 přijala Organizace spojených národů rezoluci 70/1: Přeměna našeho světa: Agenda pro udržitelný rozvoj 2030 [3]. Tato agen-

da cílů udržitelného rozvoje (SDGs) je akčním plánem, jehož cílem je stanovit do roku 2030 opatření v oblastech kritického významu pro lidstvo a planetu. Jednou z priorit je udržitelný rozvoj měst, který je klíčovým aspektem ovlivňujícím kvalitu života lidí. Stavebnictví jako hlavní zainteresovaná strana odpovědná za využívání materiálových a energetických zdrojů hraje klíčovou roli při zavádění a provádění opatření SDGs v procesu navrhování, ve výstavbě, během provozu i při rekonstrukcích a modernizacích budov, silnic, mostů a všech dalších inženýrských staveb vytvářejících vystavěné prostředí.

Budovy, infrastruktura a celé vystavěné prostředí by měly umožňovat kvalitní život lidí, měly by co nejméně poškozovat životní prostředí a měly by být lépe připraveny na nové podmínky. To znamená, že by měly být udržitelné, odolné a přizpůsobivé novým situacím, což vyžaduje nová technická řešení.

Udržitelnost by se měla stát základním zastřešujícím konceptem pro efektivní a vysoce kvalitní návrh a provoz jakékoli stavby po celou dobu životního cyklu se zaměřením na všechny tři pilíře udržitelnosti – sociální, environmentální a ekonomický. (obr. 1)

### Beton a betonové konstrukce

Beton je velmi starý materiál používaný po tisíceletí. Charakteristické

vlastnosti betonu, jako jsou pevnost a trvanlivost ve spojení s dostupností, variabilitou a relativně příznivou cenou, z něj zároveň učinily nejpoužívanější stavební materiál na světě. Důvodem je i to, že jde o silikátový kompozitní materiál, jehož složení a vlastnosti mohou být do určité míry přizpůsobeny konkrétním potřebám a dostupným zdrojům v daném regionu.

I v dnešní době může beton představovat stavební materiál s vysokým potenciálem pro nová technická řešení splňující aktuální požadavky, vedoucí k potřebnému snížení dopadů na životní prostředí a současnému zlepšení sociálních a ekonomických podmínek. Při srovnání negativních dopadů na životní prostředí, vztažených na jeden kg materiálu, vychází beton ve srovnání s jinými stavebními materiály velmi dobře. Na druhou stranu je však vzhledem k obrovskému objemu celosvětové výroby betonu jeho celkový environmentální negativní dopad spojený s výstavbou betonových konstrukcí v globálním měřítku značný. Emise CO<sub>2</sub> jen z výroby cementu se od roku 1950 zvýšily téměř 25krát [1]. Výsledkem je, že cementářský průmysl v současné době produkuje přibližně 7 až 8 % celosvětových emisí CO<sub>2</sub>. S ohledem na výše uvedenou globální situaci je velmi důležité zaměřit se na zavádění nových technologií zejména v rozvíjejících se zemích a regionech s největší produkcí cementu a využitím betonu. Nesmíme také zapomenout, že objem výroby a využití betonu jsou v rámci celého životního cyklu spojeny i se značnými nároky na dopravu a na výrobní a demoliční procesy.

Betonové směsi, betonové výrobky a betonové konstrukce by proto mě-

ly být navrhovány tak, aby odpovídaly požadavkům udržitelnosti, což znamená minimalizovat jejich negativní dopady a zvýšit pozitivní vliv na společnost, životní prostředí a hospodářství. Toho by mohlo být dosaženo zvýšením kvality a trvanlivosti betonových konstrukcí v průběhu celého životního cyklu, a to:

- zlepšením metod návrhu,
- vývojem směsí betonu, kompozitních materiálů a způsobů vyztužení,
- modernizační technologie pro výrobu betonových prvků,
- rozvojem integrovaných konstrukčních přístupů,
- inovacemi v procesech údržby, oprav, demolic a recyklace.

S ohledem na množství vyráběného betonu představuje optimalizace betonových konstrukcí velký potenciál pro zvýšení komplexní kvality konstrukcí z hlediska udržitelného rozvoje. Výzkum a vývoj složení betonu, technologie výroby a vývoj betonových konstrukcí v posledních dvaceti letech vedly ke zlepšení technických parametrů a zároveň ke snížení dopadů na životní prostředí. Nové typy betonu tak mají díky optimalizaci směsi výrazně lepší vlastnosti z hlediska pevnosti, mechanické odolnosti, trvanlivosti a odolnosti vůči extrémnímu zatížení [4].

Význam hledání nových řešení reagujících na měnící se environmentální podmínky lze ukázat na případě výstavby letního rodinného domu na Floridě na Mexico Beach, v oblasti, kde je velké riziko výskytu hurikánů. Stavitel s architektem si dali za cíl postavit dům, který bude schopen přežít i silný hurikán. Ačkoliv tradiční výstavba je v této oblasti zpravidla na bázi dřevěných konstrukcí, použili z důvodů zajištění velké odolnosti (resilience) železobetonovou konstrukci. V říjnu

2018 prošel touto oblastí velmi silný a destruktivní hurikán Michael 5. kategorie, který téměř celou oblast zdevastoval, nicméně tento dům zůstal neporušený [5]. Uvedený příklad dokládá výhody optimalizovaných železobetonových konstrukcí při extrémních zatíženích v případech přírodních katastrof a jejich potenciál při návrhu konstrukcí odolnějších v mimořádných situacích.

Současný vývoj vystavěného prostředí vede k potřebě nahrazení některých stávajících starých konstrukcí novými. V důsledku toho množství bouraných betonových konstrukcí postupně narůstá, což vytváří potřebu a potenciál pro nahrazení přírodního kameniva kamenivem recyklovaným. Použití recyklovaného betonu – jako kameniva pro nové betonové směsi – vede k úspoře přírodních zdrojů, pomáhá snižovat nároky na skládky a představuje tak příspěvek ke snižování environmentálních dopadů.

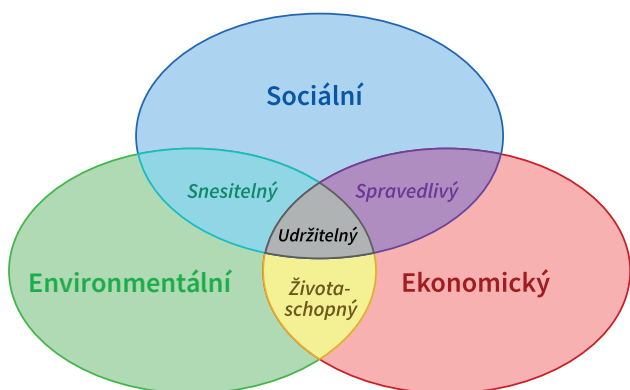
### Implementace principů udržitelnosti v MC2020

Nový MC2020 se zabývá nejen tradičními požadavky na bezpečnost a provozuschopnost, ale udržitelnost je považována za prvořadý základní požadavek, který reaguje na širší otázky, jako je sociální odpovědnost, kvalita životního prostředí a ekonomická efektivita, a to v rámci celého životního cyklu konstrukce.

Příprava MC2020 byla zahájena v roce 2016. Udržitelnost byla od samého počátku považována za jeden z hlavních principů. Vedoucí pracovní skupiny 10.1 Model Code 2020 Stuart Matthews vyjádřil již v roce 2017 v úvodníku časopisu Structural Concrete [6] následující:

- MC2020 bude považovat udržitelnost za základní požadavek založený na holistickém zacházení se společenskými potřebami a dopady, náklady na životní cyklus a dopady na životní prostředí,
- MC2020 poskytuje důležitou příležitost k dalšímu rozvoji přístupu k udržitelnému návrhu, výstavbě a celoživotní péči o betonové konstrukce.

Model Code 2020 má sloužit jako východisko – základ pro tvorbu budoucích norem pro navrhování beto-



1 Pilíře udržitelného rozvoje – schéma (zdroj: Jirka DI / cs.wikipedia.org)

1 Sustainability pillars – scheme (source: Jirka DI / cs.wikipedia.org)

nových konstrukcí. Zatímco stávající návrhové normy jsou založené na tradičních znalostech a přístupech, MC2020 zohledňuje nový vývoj a poznatky týkající se betonových konstrukcí, konstrukčního materiálu (betonu) a inovativních přístupů s cílem dosáhnout optimálního chování konstrukcí v rámci celého životního cyklu – od realizace až po demolici a recyklaci.

### Sociální aspekty

Konstrukce by měly být navrženy a postaveny tak, aby lidem umožňovaly kvalitní a bezpečný život. To znamená, že betonová konstrukce by měla zajistit kvalitní fungování objektu v průběhu celého životního cyklu a neměla by způsobovat nepříznivé dopady na společnost. Vysoká kvalita budov a infrastruktury může současně přispět i ke zdraví a pohodě lidí.

Sociální kvalita konstrukce zahrnuje:

- konstrukčně statické aspekty,
- další sociální aspekty.

### Konstrukčně statické aspekty

Zajištění vysoké kvality konstrukčně statického chování je jedním z nejdůležitějších konstrukčních a inženýrských úkolů a zahrnuje aspekty, jako jsou:

- bezpečnost definovaná jako schopnost konstrukce nebo konstrukčního prvku zabránit překročení limitů mezních stavů,
- použitelnost definovaná jako schopnost konstrukce nebo konstrukčního prvku adekvátně fungovat pro běžné použití ve všech očekávaných situacích,
- trvanlivost definovaná jako schopnost konstrukce nebo konstrukčního prvku dlouhodobě splňovat s plánovanou údržbou požadavky na konstrukční působení,
- robustnost definovaná jako schopnost konstrukce odolávat nepříznivým a nepředvídaným událostem (jako je požár, výbuch, náraz) nebo následkům lidských chyb,
- resilience – odolnost konstrukce definovaná jako schopnost reagovat, absorbovat a přizpůsobovat se mimořádným událostem a zotavovat se z nich, přičemž se očekává, že konstrukce bude schopna odolat extrémní události s minimálními škodami a narušením funkčnosti

a po události by konstrukce měla být schopna rychle obnovit svou funkčnost na podobné nebo vyšší úrovni než před událostí.

### Další sociální aspekty

Zatímco konstrukčně statické působení představuje základní sociální aspekt, je třeba, aby konstrukce splňovala i další sociální kritéria, mezi která patří mimo jiné:

- zdraví a kvalita zastavěného prostředí: akustická pohoda, tepelná pohoda, dostupnost, bezbariérový přístup,
- bezpečnost a ochrana zastavěného prostředí: bezpečnost pracovníků a externích osob, zabezpečení majetku,
- estetická hodnota a zachování kulturního dědictví,
- dopad na místní komunitu: neomezování sousedních vlastníků, nenarušování dopravy a dalších činností, pozitivní dopad na místní zaměstnanost atd.

Některé z těchto aspektů jsou důležité především pro budovy (např. tepelný a akustický komfort) a obvykle ne pro infrastrukturu.

### Environmentální aspekty – vliv na životní prostředí

Každá konstrukce by měla být navržena, postavena a provozována tak, aby se minimalizovaly škodlivé dopady, příp. posilovaly pozitivní účinky konstrukce na životní prostředí.

Klíčovými aspekty, které by měly být zohledněny v rámci vlivu na životní prostředí, jsou:

- spotřeba přírodních zdrojů,
- využívání energie (především neobnovitelné z fosilních zdrojů),
- využívání půdy,
- produkce škodlivých emisí do ovzduší, vody a půdy,
- zatížení hlukem a vibracemi,
- produkce odpadu,
- vliv na biodiverzitu (ohrožení živočišných a rostlinných druhů a celých ekosystémů).

### Ekonomická efektivita

Ekonomická efektivita betonových konstrukcí se netýká pouze nákladů na výstavbu, nýbrž zahrnuje i další ekonomické aspekty:

- náklady na výstavbu,
- provozní náklady,
- náklady na údržbu,
- náklady na renovaci,
- náklady na demolici,
- náklady na recyklaci,
- vyvolané náklady (externality),
- kapitálové náklady,
- podpora místní ekonomiky.

Demontovatelnost konstrukcí a recyklovatelnost prvků mohou mít významný vliv na ekonomickou efektivitu a zároveň i na environmentální kvalitu.

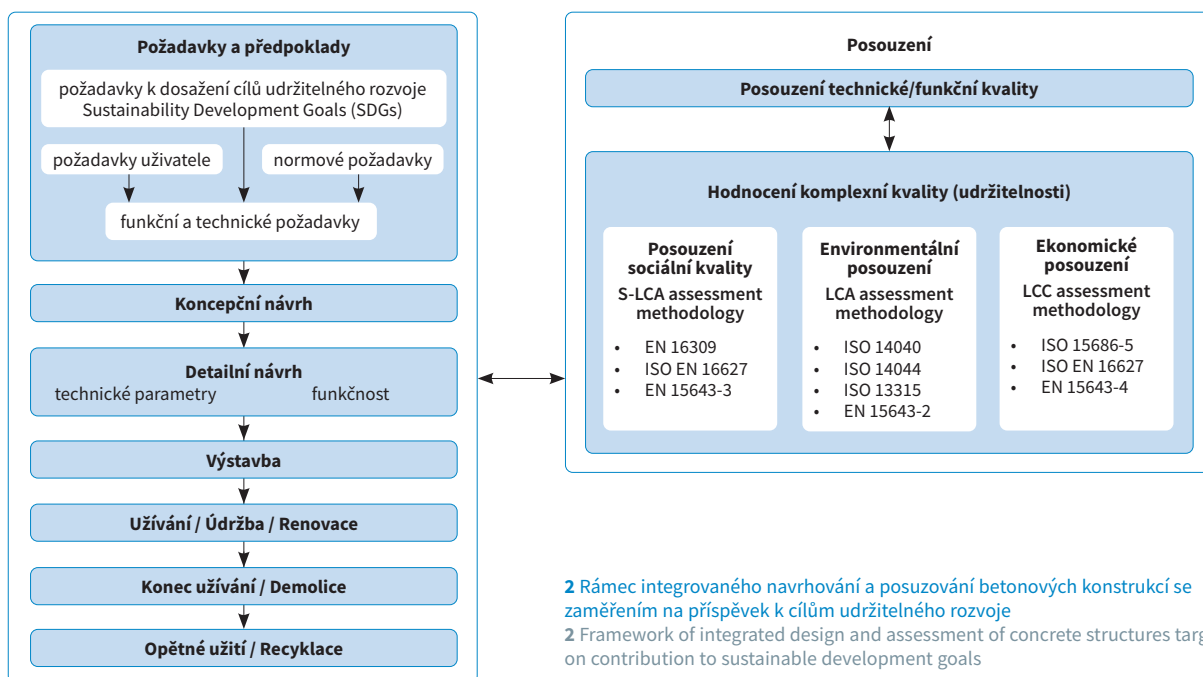
### Hodnocení betonových konstrukcí z hlediska kritérií udržitelnosti

Posuzování komplexní kvality konstrukcí zahrnuje hodnocení tří pilířů udržitelnosti – sociálního, environmentálního a ekonomického – a to po celou dobu jejich životnosti od získání surovin, výroby, návrhu, výstavby, použití, demolice konstrukce až po recyklaci a likvidaci odpadních materiálů. Jde o složitý multikritériální systém, ve kterém každý z pilířů zahrnuje soubor kritérií, která mají různý charakter a nelze je přímo porovnávat bez nastavení vah a použití některé z metod multikritériálního hodnocení. Výběr kritérií je obvykle důležitější než relativní důležitost (váha) každého kritéria při srovnání, výběr kritérií je zároveň specifický pro každý typ konstrukce a pro různé oblasti. Je třeba respektovat regionální specifika.

Nastavení vah mezi hlavními třemi pilíři udržitelnosti je ovlivněno spíše politickými a zájmovými preferencemi.

#### Literatura:

- [1] *Our World in Data* [online]. Dostupné z: ourworldindata.org
- [2] *Our Common Future (Brundtland Report)*. Zpráva OSN, UN WCED, 1987.
- [3] *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. In: ROSA, W. ed. *A New Era in Global Health*. New York, NY: Springer Publishing Company, 2017. ISBN 978-0-8261-9011-6.
- [4] HAJEK, P. Concrete Structures for Sustainability in a Changing World. *Proceedia Engineering*, 2016, Vol. 171, pp. 207–214. Elsevier.
- [5] CARR, W., McDONALD, J., SHAPIRO, E. Mexico Beach home survives Hurricane Michael virtually untouched: "We intended to build it to survive". 16. 11. 2018. *abcNEWS*. Dostupné z: youtube.com/watch?v=\_peXPtoQYQ&ab\_channel=12NewsNow
- [6] MATTHEWS, S. *fib Model Code 2020—A new development in structural codes*. *Structural Concrete: Journal of the fib*, 2017, Vol. 18, Issue 5, pp. 651–652.
- [7] *fib Bulletin 71. Integrated Life Cycle Assessment of Concrete Structures: State-of-the-art report*. *fib*, 2013. ISBN 978-2-88394-111-3.
- [8] *fib Bulletin 28. Environmental design: State-of-the-art report*. *fib*, 2004. ISBN 2-88394-068-1.



Proto je možné a vhodné hodnocení udržitelnosti provést paralelně nezávislým vyhodnocením všech tří pilířů udržitelnosti a tím poskytnout holistickou informaci o celkové kvalitě chování konstrukce z hlediska sociálního, environmentálního i ekonomického.

Průběh integrovaného návrhu a posouzení betonových konstrukcí je znázorněn na obr. 2. V prvním kroku jsou definovány požadavky a předpoklady vycházející ze společnosti a potřeb klienta. V tomto kroku jsou specifikovány základní požadavky související s plněním cílů rozvoje udržitelnosti. Další kroky představují fáze životního cyklu od koncepčního návrhu přes realizaci, užívání až po demolici a recyklaci. Ve všech těchto fázích je třeba zajistit a posuzovat technickou a funkční kvalitu konstrukce, a to nejenom z konstrukčně statického hlediska, ale z pohledu komplexní kvality, tj. všech klíčových aspektů udržitelnosti konstrukce. Posuzování kvality v jednotlivých pilířích udržitelnosti probíhá v souladu s existujícími normami a předpisy. V případě sociální kvality je konstrukčně statické působení konstrukcí posuzováno běžnými předpisy pro navrhování betonových konstrukcí a ostatní sociální požadavky prostřednictvím příslušných technických norem a zastřešujících mezinárodních norem EN a ISO. Environmentální posouzení je prováděno

metodikou LCA (life cycle assessment) a ekonomické posouzení metodikou LCC (life cycle cost) podle příslušných mezinárodních norem ISO a EN. Je zřejmé, že je kladen důraz na posuzování celého životního cyklu.

### Závěr

Svět se vždy měnil a měnila se i kvalita životního prostředí vhodného pro život lidí. Země vznikla již před 4,7 miliardami let; první lidé homo sapiens se datují před 300 000 lety, tzn. že lidé obývají Zemi pouhých 0,006 % její existence. A Země bude existovat další miliardy let – v období, kdy již podmínky na ní pro existenci lidí vhodné nebudou. Svět dnes čelí zvyšujícímu se počtu přírodních katastrof a narůstajícím hospodářským a sociálním problémům a výzvám. S ohledem na zrychlující se změny kvality životního prostředí se stává urgentním úkolem soustředit se na zajištění podmínek na Zemi pro existenci lidí co možná nejdéle. V současnosti jsme tak svědky intenzivní diskuze na nejvyšší mezinárodní úrovni, jak danou situaci řešit.

Stavebnictví významným způsobem ovlivňuje stav životního prostředí. Pro realizaci a provoz stavebních objektů spotřebovává značné množství surovinových a energetických zdrojů (z nichž převážná část je neobnovitelných) a produkuje rozhodující množství od-

padů a škodlivých emisí ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  aj.). Vlastní stavební činnost nepříznivě ovlivňuje životní prostředí především hlukem, prachem, exhalacemi, znečištěním komunikací, zábořem přírodních ploch, poškozováním zeleně a odpady ze stavební činnosti. Zcela vyloučit všechny nepříznivé vlivy stavební činnosti na životní prostředí nelze, nutným požadavkem však musí být jejich omezení na nezbytně nutnou míru, odpovídající obecným globálním požadavkům trvale udržitelného rozvoje společnosti.

Mezinárodní federace pro konstrukční beton *fib* si je vědoma naléhavé potřeby ovlivnit betonářský průmysl a celý stavební sektor tak, aby přispěl k plnění cílů udržitelného rozvoje a pomohl rozvíjet udržitelné a odolné prostředí pro budoucí generace. Nový Model Code 2020 z těchto cílů vychází a specifikuje principy pro uplatnění při navrhování betonových konstrukcí. Tyto principy vycházejí z výsledků dlouhodobé činnosti komise *fib* COM7 Sustainability a předchází komise *fib* COM3 Environmental aspects of concrete structures [7], [8]. Uvedené principy byly uplatněny v rámci přípravy MC2020 i v komisi *fib* COM10. Publikace Model Code 2020 se předpokládá v roce 2023.



prof. Ing. Petr Hájek, CSc.  
Fakulta stavební ČVUT v Praze  
petr.hajek@fsv.cvut.cz