

TRVANLIVOST: EN 206 – KONCEPT K-HODNOTY – MODELOVÁNÍ

DURABILITY: EN 206 – K-VALUE CONCEPT – MODELLING

Markéta Chromá, Pavla Rovnaníková, Břetislav Teplý

Výhody či nevýhody preskriptivních a performance-based postupů jsou relativně málo diskutovány. Je to patrné zejména při úlohách specifikace či posuzování betonu s příměsí II. druhu s ohledem na životnost. Předložený článek toto téma zpracovává s ohledem na evropskou normu EN 206 v původní i chystané revidované verzi a zabývá se zejména konceptem k -hodnoty a možnostmi modelování degradace betonu. ■ *The effectiveness of prescriptive vs. performance-based concepts is rarely discussed. This is evident especially in cases of specification or assessment of concretes made from cement with additions of type II with regard to their durability. The paper deals with this issue considering Eurocode EN 206 and its coming revision together with the k -value concept and possibilities of concrete degradation modeling.*

Problematika trvanlivosti nabývá v poslední době na významu, zejména v souvislosti s trvale udržitelným stavěním, otázkami nákladů životního cyklu staveb a s tzv. performance-based postupy (dále jen PB postupy) navrhování betonových konstrukcí [1]. Je to zřejmé i z nových mezinárodních dokumentů ISO 16204 [2] a *fib* Model Code 2010 [3], kde je mj. také zdůrazňován pravděpodobnostní přístup. Trvanlivost a spolehlivost konstrukcí patří mezi základní vlastnosti konstrukce, které mohou mít výrazné ekonomické důsledky. V současné praxi této problematice není věnována patřičná pozornost.

V souvislosti s navrhováním betonových konstrukcí je oprávněně připomínáno, že jednou z možností snižování produkce CO_2 je náhrada portlandského cementu pucolánově nebo hydraulicky reagujícími příměsí (Supplementary Cementing Materials – SCM), jako jsou popílky, strusky, zeolity, popely, pálené jíly, obecně reaktivní aluminosilikáty [1]. Jejich použití má dopad na vlastnosti betonu, mj. i na jeho odolnost proti agresivním účinkům okolního prostředí. V ČSN EN 206-1 [4] jsou tyto materiály charakterizovány jako příměsí II. druhu.

Předkládaný článek se zabývá problematikou trvanlivosti betonů vyrobených s těmito příměsí a diskutuje se zejména performance-based přístup a použití konceptu k -hodnoty v pů-

vodní [4] i revidované verzi [5] uvedené euronormy. Příspěvek poukazuje také na možnosti a výhody výpočetního modelování, zejména při prognózování postupu degradace a při posuzování životnosti betonových konstrukcí. Některé souvislosti byly již autory pojednány dříve, např. v lit. [6] a [7].

Připomeňme, že oproti výše zmíněným PB postupům jsou doposud dominantní tradiční postupy preskriptivní. V úvodu dokumentu [5] je např. uvedeno (volně přeloženo): „*Jestliže beton je ve shodě s mezními hodnotami, předpokládá se, že v konstrukci pak splňuje požadavky na trvanlivost v daném prostředí... Jako alternativní k preskriptivním konceptům mezních hodnot jsou ve vývoji PB koncepty*“. Mezními hodnotami jsou v těchto souvislostech v lit. [4] a [5] míněny údaje tabulky F.1, tj. maximální hodnoty vodního součinitele a minimálního množství cementu ve vztahu k expoziční třídě.

Naproti tomu PB koncepty požadují přímý návrh složení směsi pro výrobu betonu ve smyslu požadovaných vlastností – např. pevnosti, odolnosti proti zmrazovacím cyklům, proti průniku chloridů apod. Použití PB přístupů není omezeno jen na specifikaci betonu, ale velmi dobře se může uplatnit při navrhování či posuzování betonových konstrukcí na trvanlivost (např. při ověřování životnosti a spolehlivosti pro různé mezní stavy).

KONCEPCE k -HODNOTY

Je známo, že vodní součinitel w/c v případě směsných cementů není vhodný pro predikci vlastností betonu. Proto byl již v roce 1967 navržen alternativní koncept tzv. efektivního vodního součinitele $(w/c)_{\text{eff}}$ [8]:

$$(w/c)_{\text{eff}} = \text{voda}/(\text{cement} + k \times \text{SCM}) \quad (1)$$

aplikovaný nejprve pouze na **pevnost betonu**. V tomto vztahu k -hodnota zohledňuje účinnost příměsí, závisí mj. na druhu a množství SCM v betonu a liší se též podle vlastnosti, ke které se vztahuje (pevnost betonu, karbonatce, působení chloridů).

Pro vlastnosti betonu popisující jeho **trvanlivost** je k -hodnota studována teprve v posledních letech. Její koncepce je také začleněna do normy [4] a [5]. V čl. 5.2.5.2 je definována jako **pre-**

skriptivní koncept, kdy množství (*cement* + $k \times \text{SCM}$) nesmí být menší než minimální množství cementu požadované pro danou expoziční třídu.

Ve zprávě CEN [9], která zřejmě bude vydána jako doprovodný dokument revidované EN 206, jsou pro popílek (FA) a pro mikrosilikku (SF) diskutovány také hodnoty součinitele k , o kterých je doloženo, že jsou „bezpečné“ i pro požadavky na trvanlivost. Pro použití vysokopecní strusky (GBFS) se jedná jen o hodnoty doporučené. Tyto hodnoty jsou proto zařazeny do [5].

Z výsledků průzkumu ve dvanácti zemích vyplývá [9], že doporučované k -hodnoty se dosti výrazně liší a zdá se, že v souvislosti s úlohami ověřování životnosti s pomocí k -konceptu vystává v běžné praxi řada otázek. Také z několika dalších pramenů je zřejmý velký rozsah k -hodnot, ke kterým různí autoři dospěli. Rozsah získaných k -hodnot z řady zdrojů je shrnut v tab. 1 (v zájmu úspory místa bez konkrétních odkazů na použité parametry).

Současně připomeňme, že k -hodnoty indikované v [5] mají prostřednictvím efektivního vodního součinitele sloužit jen pro ověření limitních, preskriptivních doporučení uvedených v Tab. F.1.

V řadě prací bylo také ukázáno, že k -hodnota kromě typu SCM a druhu degradace závisí též na chemickém složení použité příměsí, její interakci s cementem a na její mikrostrukturu. Byla zaznamenána také závislost na čase, době a způsobu ošetřování betonu a na expozičních podmínkách. Stanovit či experimentálně ověřit všechny relevantní varianty by bylo zřejmě neproveditelné.

Doplňme ještě, že při zohledňování trvanlivosti je nutno pracovat s požadovanou životností a úrovní spolehlivosti (zadanou hodnotou indexu spolehlivosti β) vztaženou k příslušnému meznímu stavu [11].

PERFORMANCE-BASED PŘÍSTUPY

V apendixu J původního znění normy [4] je pro návrh betonu z hlediska trvanlivosti zmiňována také alternativní možnost – použití metod, založených na analytických modelech, které byly porovnány s výsledky zkoušek, reprezentujících skutečné podmínky v praxi (jedná se tedy o PB postup). V novém

znění normy [5] tato možnost již nebude explicitně uvedena. Jistým způsobem je to nahrazeno v části 5.2.5, kde je uvedeno „Příměsi druhu II ... mohou být ve složení směsi uvažovány ... jestliže jejich vhodnost byla prokázána některým z konceptů ...“.

V této souvislosti jsou uvedeny tři koncepty:

- koncept *k*-hodnoty;
- ekvivalentní koncepce posouzení vlastností betonu (používá se zkratka ECPC)
- ekvivalentní koncepce posouzení kombinace (EPCC).

Při použití ECPC se musí prokázat, že beton má při interakci s prostředím trvanlivostní vlastnosti ekvivalentní s referenčním betonem. Podobně koncept EPCC porovnává vlastnosti betonu kombinujícího různé cementy s příměsí s betonem připraveným z portlandského cementu. Podrobnosti o těchto dvou PB konceptech lze nalézt ve zprávě [9].

ECPC i EPCC jsou sice PB přístupy, ale jsou založeny na časově náročných laboratorních zkouškách betonových vzorků; nezdají se tedy příliš schůdné v praxi, kdy je často nutno operativně rozhodovat o různých variantách, což je v řadě případů možné s výhodou provádět pomocí modelování a simulacních technik.

Možnost používání metod založených na analytických modelech je ale jistým způsobem zachována i v [5] v sekci 5.3.2. v Pozn. 3: „...Poučení o tom, jak interpretovat životnost a jak ověřovat mezní hodnoty pro betonové směsi ... lze nalézt v ISO 16204“ [2]. Tento dokument, zmíněný již v úvodu, uvádí čtyři úrovně pro navrhování na životnost s danou či ověřovanou mírou spolehlivosti.

Úroveň 1 je **plně pravděpodobnostní metoda** zahrnující pravděpodobnostní degradační modely, posuzování mezních stavů a jedná se pochopitelně o performance-based přístup. Je nutno poznamenat, že norma [2] vychází z obecnějšího, materiálově nezávislého dokumentu ISO 13823 [10] a rovněž dokumentu *fib* Model Code [3] specializovaného již na betonové konstrukce.

KARBONATACE BETONU – MODELOVÁNÍ, PŘÍKLAD

Vzhledem k právě uvedeným důvodům je další text věnován modelování degradačních procesů.

Pro hodnocení důsledků možné degradace nově navrhaných i v provozu již existujících betonových konstrukcí může posloužit program FReET-D. Zahrnuje modelování karbonatace, působení chloridů, důsledků koroze výztuže, působení kyselin a dalších degradačních procesů. Celkem obsahuje třicet dva modely (vč. modelů dle [3]), tj. často zaznamenávané způsoby degradace vyvolané působením vnějších vlivů na železobetonové konstrukce. Jedná se většinou o jednoduché 1D modely přejaté z literatury, opřené o výsledky testů a verifikaci pomocí reálných případů. Modely byly převedeny do pravděpodobnostní formy a uvedený program pak mj. zahrnuje statistickou, citlivostní i pravděpodobnostní analýzu s volitelnou možností mezních podmínek.

Při posuzování stávajících konstrukcí lze také získat zpřesnění statistických parametrů výsledků s ohledem na aktuální stav (pomocí dat získaných přímo měření na konstrukci či monitorováním) – tzv. Bayessovský updating. Velmi jednoduše lze realizovat para-

metrické studie a zohlednit případnou statistickou závislost vstupních veličin. FReET-D je modulem nadřazeného softwaru FReET (<http://www.freet.cz/>). Jako ukázkou modelování degradačních procesů pomocí zmíněného softwaru uvádíme příklad zaměřený na karbonataci betonu.

Karbonatace betonu je chemický proces způsobený reakcí oxidu uhličitého se složkami cementového tmelu. Tento proces v konečné fázi vede až k depasivaci a následné korozi výztuže. Během karbonatace totiž dochází k postupnému snižování pH pórového roztoku a postoupí-li linie (čelo) takto zkarbonatované povrchové vrstvy betonu až k výztuži (tj. zasáhne celou krycí vrstvu), dojde k destabilizaci ochranné (pasivační) vrstvy na povrchu výztuže, tzn. že dochází k depasivaci výztuže, která pak může začít v přítomnosti kyslíku a vlhkosti korodovat.

Ověření správnosti numerického modelu a rovněž vhodné *k*-hodnoty je možné dosáhnout porovnáním s výsledky laboratorních experimentů, nebo ještě lépe s dostatečně věrohodnými výsledky měření hloubky karbonatace na existujících konstrukcích v reálném prostředí. Srovnání středních hodnot hloubky karbonatace obdržných experimentálně [12] s hodnotami predikovanými pomocí modelů je uvedeno v tab. 2.

Experimentálně zjištěné střední hodnoty hloubky karbonatace byly získány pomocí krátkodobého zrychleného testu provedeného v karbonatační komoře se zvýšeným obsahem CO₂ (20 obj. %), při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti 70 %. Pro predikci středních hodnot hloubek karbonatace byly využity dva modely zakomponované ve FReETu-D:

Tab. 1 Přehled *k*-hodnot | Tab. 1 Summary of *k*-values

Typ příměsi	Rozsah hodnot zaznamenaných v literatuře			EN 206 [5]
	Pevnost	Karbonatace	Působení chloridů	
Popílek (FA)	0,43 až 1,5	0,3 až 0,8	0,06 až 3	$k = 0,4$ pro CEM I FA/cement $\leq 0,33$ $k = 0,4$ pro CEM II/A FA/cement $\leq 0,25$
Křemičitě úlety (SF)	2,4 až 3	0,3	6	$k = 2$ $w/(c + kSF) \leq 0,45$ SF/cement $\leq 0,11$ $k = 1$ pro exp. třídy XC, XF $w/(c + kSF) > 0,45$ SF/cement $\leq 0,11$
Vysokopecní struska (GBFS)	0,55 až 1,05	–	1,3 až 1,9	$k = 0,6$ pro CEM I a CEM II/A GBFS/cement ≤ 1

Firmní prezentace

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.

jedna z největších zkušebních a certifikačních organizací v České republice slaví 60 let od svého založení.



ZÚS[®]

Pro vaši důvěryhodnost.

TZÚS Praha, s.p.
Prosecká 811/76a, 190 00 Praha-Prosek
info@tzus.cz, www.tzus.eu

• model dle Papadakis [13], kde je k -hodnota jedním ze vstupních parametrů (**model a**),

• model dle Jianga [12], kde k -hodnota není vstupním parametrem (**model b**).

Hodnoty vstupních parametrů pro oba modely byly zadány v souladu s experimentálními podmínkami a složením vzorků použitých v experimentu Jiangem a kol. [12] a jsou shrnuty v tab. 3. Vzhledem k tomu, že autoři použili jako příměs křemičitý popílek (obsahující 3,69 % CaO), byly zvoleny tři varianty k -hodnoty:

• $k = 0,2$ jak je doporučeno v původním znění normy pro složení a vlastnosti betonu EN 206 [4] v případě použití popílku a cementu typu CEM I 32,5,

• $k = 0,4$ jak je doporučeno v novém znění normy EN 206 [5],

• $k = 0,5$ jak bylo experimentálně zjištěno Papadakisem [13].

V případě modelu *a*, který využívá koncepcí k -hodnoty, byla zjištěna největší shoda s experimentálně naměřenými hodnotami hloubky karbonatace při použití Papadakisem experimentálně určené k -hodnoty ($k = 0,5$) [13]. Z uvedeného tedy vyplývá, že k -hodnota doporučená normou EN 206-1 ($k = 0,2$ [4], $k = 0,4$ [5]) byla pravděpodobně vyvinuta pro účely pevnosti betonu.

Jak bylo zmíněno dříve, tato hodnota se mj. liší též podle vlastnosti, ke které se vztahuje (pevnost betonu, odolnost proti karbonataci, či působení chloridů), proto pravděpodobně použití k -hodnot z normy neposkytuje při výpočtu výsledky odpovídající experimentu. V obou případech jsou při použití k -hodnoty z EN 206 [4, 5] vypočteny vyšší hodnoty hloubky karbonatace než experimentálně určené. Z uvedeného vyplývá, že software FReET-D může být podobným způsobem využit mj. pro částečnou verifikaci „problematických“ vstupních parametrů (v tomto případě k -hodnoty), které pak lze následně použít k modelování karbonatace betonu s podobným složením.

V případě modelu *b* (bez použití k -hodnoty jako vstupní veličiny) bylo dosaženo nejbližších výsledků ve srovnání s experimentálně zjištěnými hodnotami (tab. 2).

Vzhledem k tomu, že vstupní parametry obou modelů (tab. 3) lze zadávat jako proměnné veličiny, lze pro výstupní hloubky karbonatace obdržen

Tab. 2 Predikované a experimentálně určené hloubky karbonatace ■ Tab. 2 Predicted and experimentally observed carbonation depths

Čas [dny]		Hloubka karbonatace – střední hodnota [mm]	COV [%]	PDF
7	Experimentálně určená	13	–	–
	model a ($k = 0,2$)	21,6	9,2	gamma (2 par)
	model a ($k = 0,4$)	14,7	9,9	lognormální (3 par)
	model a ($k = 0,5$)	12,1	10,5	lognormální (2 par)
	model b	9,7	21,6	lognormální (3 par)
14	Experimentálně určená	16	–	–
	model a ($k = 0,2$)	30,6	9,2	normální
	model a ($k = 0,4$)	20,8	9,9	normální
	model a ($k = 0,5$)	17,1	10,5	normální (jednostranně ohraničené)
	model b	13,3	21,7	lognormální (3 par)
28	Experimentálně určená	18	–	–
	model a ($k = 0,2$)	43,3	9,2	Weibull max (3 par)
	model a ($k = 0,4$)	29,4	9,9	beta
	model a ($k = 0,5$)	24,2	10,4	lognormální (3 par)
	model b	18,2	21,5	Weibull min (3par)

Tab. 3 Vstupní parametry pro modely ■ Tab. 3 Input parameters for models

Vstupní veličina [jednotka]	PDF	Střední hodnota	COV [%]	Model
Čas [roky]	deterministické	0,0192, 0,0383 a 0,0767		a, b
Množství CO ₂ v okolní atmosféře [mg/m ³]	normální	3,6667 × 10 ⁵	12	a, b
Relativní vlhkost [%]	beta (a = 0, b = 100)	70	7	a, b
Množství cementu [kg/m ³]	normální	150	3	a, b
Množství vody [kg/m ³]	normální	127	3	a, b
Množství popílku [kg/m ³]	lognormální (2 par)	183	1	a, b
Objemová hmotnost cementu [kg/m ³]	normální	3 100	2	a
k -hodnota [-]	deterministické	0,2, 0,4 a 0,5	-	a
Stupeň hydratace cementu [-]	normální (oboustranně ohraničené)	0,83 (7 dní) 0,85 (14 dní) 0,88 (28 dní)	5	b
Hmotnostní procenta CaO v cementu [%]	normální (oboustranně ohraničené)	63,78	5	b
Hmotnostní procenta SiO ₂ v cementu [%]	normální (oboustranně ohraničené)	21,45	5	b
Hmotnostní procenta Al ₂ O ₃ v cementu [%]	normální (oboustranně ohraničené)	4,68	5	b
Hmotnostní procenta Fe ₂ O ₃ v cementu [%]	normální (oboustranně ohraničené)	6,15	5	b
Hmotnostní procenta SO ₃ v cementu [%]	normální (oboustranně ohraničené)	1,08	5	b
Stupeň hydratace popílku [-]	normální (oboustranně ohraničené)	0,16 (7 dní) 0,17 (14 dní) 0,19 (28 dní)	5	b
Hmotnostní procenta CaO v popílku [%]	normální (oboustranně ohraničené)	3,69	5	b
Hmotnostní procenta SiO ₂ v popílku [%]	normální (oboustranně ohraničené)	44,98	5	b
Hmotnostní procenta Al ₂ O ₃ v popílku [%]	normální (oboustranně ohraničené)	30,08	5	b
Hmotnostní procenta Fe ₂ O ₃ v popílku [%]	normální (oboustranně ohraničené)	13,92	5	b
Hmotnostní procenta SO ₃ v popílku [%]	lognormální (2 par)	0,15	5	b
Parametr zohledňující vliv pórového systému betonu	deterministické	2,1	-	b

jejich rozptyl, což může mnohem lépe postihnout reálné chování. Např. v případě modelu *b* je rozptyl hloubky karbonatace popsán variačním koeficientem $COV = 21,5 \%$, tj. např. pro stáří betonu 28 dní spadá přibližně 70 % možných realizací hloubky karbonatace do intervalu mezi 14,3 až 22,1 mm.

Pomocí uvedeného softwaru lze pro hloubku karbonace též automaticky určit nejbližší pravděpodobnostní distribuční funkci (PDF) pomocí Kolmogorova-Smirnova testu (tab. 2).

ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Předložený článek pojednává o problematice preskriptivních a performan-

ce-based postupů při úlohách specifikace či posuzování betonu s příměsmi II. druhu s ohledem na životnost. Vychází se z normy EN 206 a je diskutován zejména koncept *k*-hodnoty a možnosti modelování, přičemž se připomíná okolnost, že součinitel *k* zohledňující účinnost příměsi závisí kromě typu SCM též na druhu degradace a řadě dalších okolností. Nalezení hodnot vhodných pro všechny situace je prakticky nemožné a v textu se dokládá, že výpočetní modelování degračního efektu může být schůdnou cestou.

Připomeňme také, že dlouhodobé zkušenosti a dobře dokumentovaná dlouhodobá měření degradace be-

tonových vzorků/konstrukčních prvků vyrobených s SCM téměř neexistují. Jedním z důvodů je skutečnost, že se některé druhy příměsí začaly používat až v nedávných letech. Také výsledky zrychlených testů neposkytují záruku realistického obrazu dlouhodobé skutečnosti.

Modelování může proto posloužit jako schůdná alternativa. Jestliže existuje vhodný a dostatečně obecný softwarový nástroj, je možno modely používat v praxi, další pak testovat či vyvíjet. Euronorma EN 206 k tomu jistý návod poskytuje, i když ne příliš jasně a jednoznačně.

Tento článek byl finančně podpořen grantem P104/12/0308 Grantové Agentury ČR.

Autoři děkují rovněž Ing. Michalu Števelovi, Ph.D., za zapůjčení některých vědeckých materiálů.

Literatura:

- | | |
|---|---|
| <p>[1] <i>Teplý B.</i>: Performance-based navrhování betonových konstrukcí a specifikace betonu, Beton TKS 2/2009, s. 42–45</p> <p>[2] ISO 16204: Durability – Service life design of concrete structures, 2012</p> <p>[3] <i>fib</i> Draft Model Code 2010, <i>fib</i> Bulletins No. 65 and 66, International Federation for Structural Concrete, Lausanne, Switzerland, 2012</p> <p>[4] ČSN EN 206-1 (2001) Beton, Část 1: Specifikace, vlastnosti – výroba a shoda (vč. změn Z1 až Z3)</p> <p>[5] prEN 206: Concrete – Specification, performance, production and conformity, Final Draft European Standard, 2013</p> <p>[6] <i>Rovnaníková P., Teplý B.</i>: Obsah hydroxidu vápenatého v betonech se silikátovými příměsmi – důležitý faktor při posuzování životnosti betonových konstrukcí, Beton TKS 2/2009, s. 38–41</p> <p>[7] <i>Chromá M., Pernica F., Teplý B.</i>: Blended cements, durability and reliability of concrete structures, Proc. 2nd Inter. Symp. Non-Traditional Cement and</p> | <p>Concrete, Brno, Czech Republic, 2005, 216–223</p> <p>[8] <i>Smith I. A.</i>: The design of fly-ash concretes, Proc. of the Institution of Civil Engineers, 36 (1967), 769–790</p> <p>[9] CEN/TC 104/SC 1 N 717: Use of <i>k</i>-value concept, equivalent concrete performance concept and equivalent performance of combinations concept, CEN Technical report, TG5-170, October 26th 2011</p> <p>[10] ISO 13823: General Principles on the Design of Structures for Durability, 2008</p> <p>[11] <i>Teplý B.</i>: Jsou již mezní stavy uzavřenou kapitolou? Konstrukce 3/2005, 10–11</p> <p>[12] <i>Jiang L., Lin B., Cai Y.</i>: A model for predicting carbonation of high-volume fly ash concrete, Cement and Concrete Research, 30 (2000) 699–702</p> <p>[13] <i>Papadakis V. G.</i>: Effect of supplementary cementing materials on concrete resistance against carbonation and chloride ingress, Cement and Concrete Research 30 (2000) 291–299</p> |
|---|---|

RNDr. Markéta Chromá, Ph.D.
e-mail: chroma.m@fce.vutbr.cz



prof. RNDr. Pavla
Rovnaníková, CSc.
e-mail: rovnanikova.p@fce.vutbr.cz



prof. Ing. Břetislav Teplý, CSc.
e-mail: teply.b@fce.vutbr.cz



všichni: Fakulta stavební VUT v Brně

Text článku byl posouzen odborným lektorem.

Ověřte Vaši konstrukci programem ATENA!

Připojte se ke špičkovým inženýrům, kteří používají počítačovou simulaci pro kontrolu a navrhování bezpečných a spolehlivých staveb.



Nabízíme:

- jedinečný software pro nelineární analýzu a hodnocení bezpečnosti – programy ATENA Engineering, ATENA Science, SARA
- uživatelskou podporu a údržbu
- poradenství v oblasti nelineárních výpočtů a spolehlivosti konstrukcí

Použití pro:

- budovy, mosty, energetické, vodohospodářské a podzemní stavby
- prostý a vyztužený beton, drátkobeton, vláknobeton
- stanovení šířky trhlin, průhybů, optimalizaci výztuže
- ověření únosnosti, odolnosti, spolehlivosti, zesilování konstrukcí



Na Hřebenkách 55 • 150 00 Praha 5
Tel: +420 220 610 018 • e-mail: cervenka@cervenka.cz • web: www.cervenka.cz