

KOTEVNÍ SYSTÉMY PRO BETON – STAV SOUČASNÝCH ZNALOSTÍ ■ FASTENING TO CONCRETE – A STATE OF THE ART

Rolf Eligehausen, Werner Fuchs

Pochopení základních principů chování kotevních systémů pro přenos zatížení do betonu při jejich různorodém použití přináší rychlý rozvoj jak v oblasti vývoje nových produktů a jejich uvádění na trh, tak i v oblasti upravování stávajících návrhových předpisů a vytváření nových s cílem, zajistit bezpečný návrh kotvení a jeho efektivní užití v široké oblasti betonových konstrukcí. Článek popisuje současný stav a vývoj nových moderních kotevních systémů pro výstavbu monolitickou i prefabrikovanou technologií a pro dodatečné připevňování k betonovým prvkům. Pozornost se soustředí zejména na směrnice a doporučení pro návrhy a projekty. ■ The understanding of the fundamental principles of the load bearing-behavior of fastenings in concrete in different fields of applications has yielded a rapid growth in the development of sophisticated new products and the establishment of European prequalification guidelines and design rules to ensure their safe and economical use in a wide range of engineered structures. In this paper the actual status and developments in modern fastening to concrete technology with cast-in situ and post-installed fasteners are described. The focus of this paper is on guidelines for prequalification and design.

Požadavky na větší přizpůsobivost během navrhování, projektování i přestavování konstrukcí jsou staré jako stavebnictví samo. Moderní kotevní systémy řeší širokou oblast dodatečného připevňování bezpečně a ekonomicky. Větší a detailnější znalosti umožňují vývoj nových optimalizovaných řešení připojení k betonu či vzájemného spojení betonových prvků. Na obr. 1 jsou zobrazeny základní oblasti použití při-

pevňovacích kotev v pozemních stavbách. Kotevní a spojovací prvky se používají na všech typech konstrukcí. Protože selhání kotvy může vést k selhání části nebo dokonce celé konstrukce, ohrozit lidské životy nebo vést k vážným ekonomickým ztrátám, spolehlivé spojovací prvky jsou nezbytné.

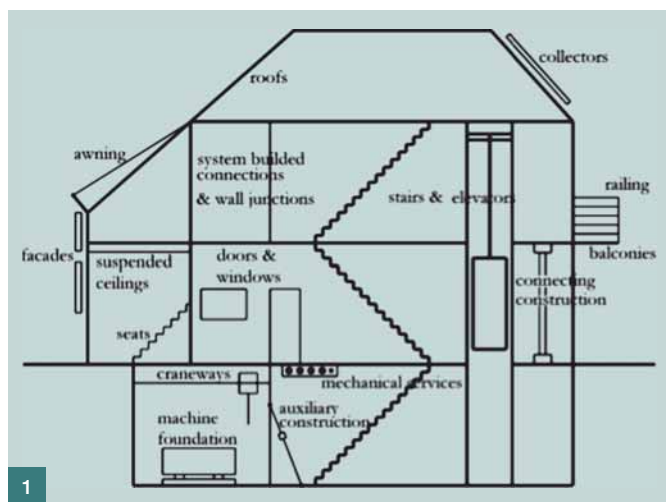
Pro zajištění spolehlivého kotvení je třeba dobré a úzké spolupráce výrobce, projektanta a pracovníka zodpovědného za osazení kotvy do konstrukce (obr. 2). Výrobce musí dodávat účinné a dobře fungující kotevní systémy, inženýr musí pro danou aplikaci zvolit vhodnou kotvu a ověřit dostatečnou bezpečnost přikotvení pomocí odpovídající metody návrhu. Rozhodujícím parametrem systému je však správně provedená instalace kotvy.

KONSTRUKČNÍ A NEKONSTRUKČNÍ POUŽITÍ

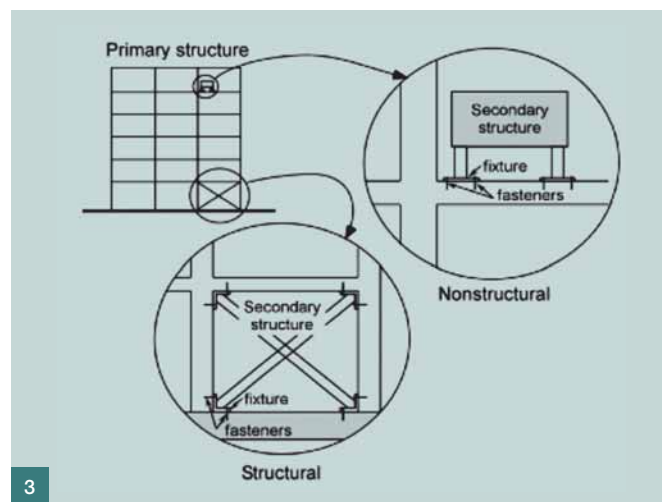
Moderní kotevní systémy jsou používány téměř na všech typech stavebních konstrukcí. Bavíme-li se o kotvení (ve smyslu připojování) a oblastech jeho použití, je účelné rozlišovat mezi použitím konstrukčním a nekonstrukčním (obr. 3).

Nekonstrukční prvky jsou architektonické, mechanické nebo elektrikářské prvky, systémy a komponenty, např. fasádní prvky, zavěšené podhledy, rozvody a stroje, tedy ty části budovy, které nejsou určeny k přenosu zatížení nosné konstrukce.

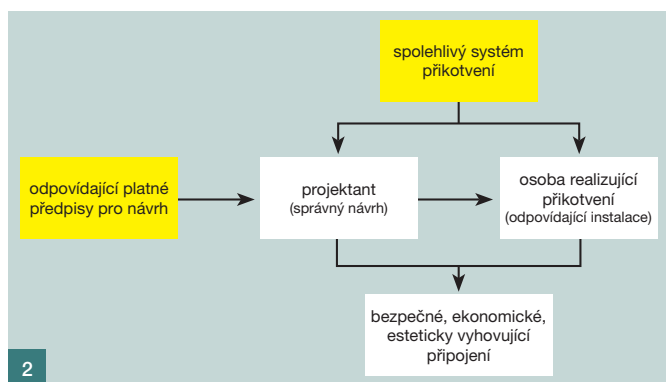
Prvky nosné konstrukce jsou části uvažovaného konstrukčního systému, které vzdorují zatížení a při analýze odpovídající návrhové situace jsou modelovány v souladu s návrhovými normami.



1



3

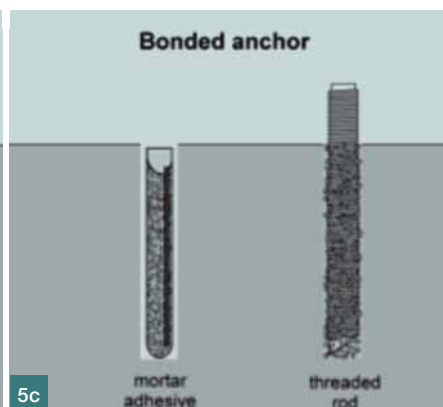
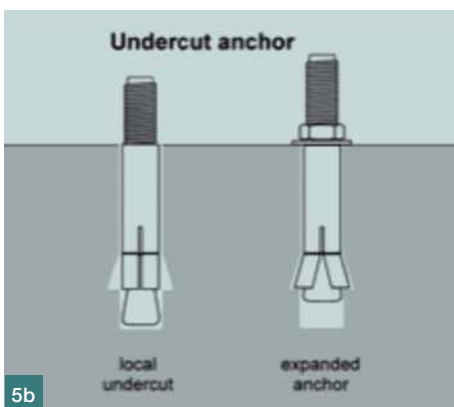
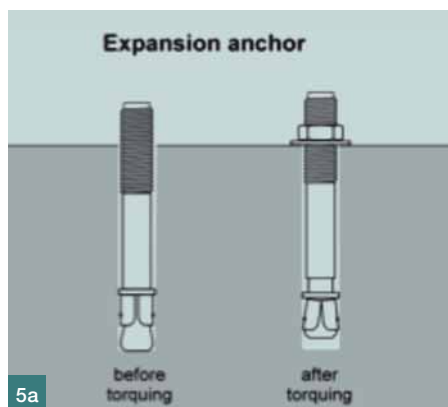
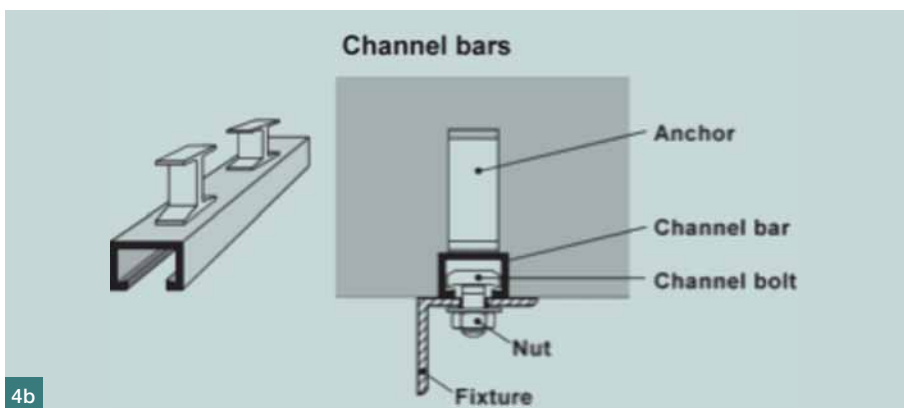
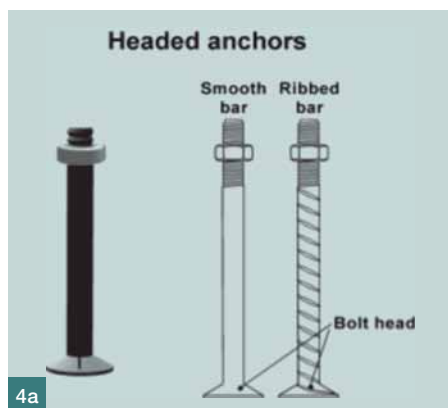


2

Obr. 1 Příklady použití kotevní techniky k betonovým prvkům v konstrukci budovy ■ Fig. 1 Field of applications for fastening to concrete – examples

Obr. 2 Systém zajištění spolehlivého přikotvení ■ Fig. 2 Framework to ensure reliable fastenings

Obr. 3 Konstrukční a nekonstrukční použití přikotvení [1] ■ Fig. 3 Structural and nonstructural applications for fastenings [1]



Protože poškození nebo selhání nekonstrukčního použití připevňovacích systémů může také způsobit velké a vážné škody, je třeba i zde brát v úvahu hledisko bezpečnosti a kotvy vybírat velmi pečlivě.

KOTEVNÍ SYSTÉMY

Připevňovací systémy se dělí na kotvy předem vkládané do bednění monolitických konstrukcí nebo forem dílců a na dodatečně instalované kotvy.

Systémy předem vkládané do bednění monolitických konstrukcí nebo forem dílců, např. hlavové kotvy (obr. 4a) nebo kolejnice (obr. 4b), přenášejí tahové zatížení zejména mechanickým propojením s betonem.

Typické dodatečně osazované kotvy jsou uvedeny na obr. 5. V případě rozpínavých (expanzních) kotev (obr. 5a) je zatížení do betonu přenášeno pomocí tření. Třecí odpor závisí na síle generované rozevřením kotvy. Kotevní systémy se spodním zářezem (obr. 5b) přenášejí tahové zatížení do betonu prostřednictvím mechanického zajištění, kdy se v zářezu v betonu rozevírá koncová část kotvy jako výsledek místně působících vysokých napětí. Lepené kotvy, dále rozdělené na kotvy s chemickou maltou nebo kotvy s chemickou patronou (obr. 5c), jsou zajištěny v betonu působením napětí v soudržnosti mezi závitovou tyčí a maltou a maltou a betonem po celé délce zapuštěné tyče. Některé kotevní systémy využívají kombinovaného mechanismu přenosu zatížení, např. lepené expanzní kotvy pro použití v betonu s trhlinami.

Během posledního desetiletí byla průmyslovými výrobci v úzké spolupráci s výzkumnými institucemi vyvinuta řada inovativních a funkčních kotevních systémů, které pokrývají téměř všechny požadavky praxe (kotevní systémy do betonu bez trhlin i s trhlinami, do různých typů zdiva, přenášející statické nebo opakované zatížení i v podmínkách požáru).

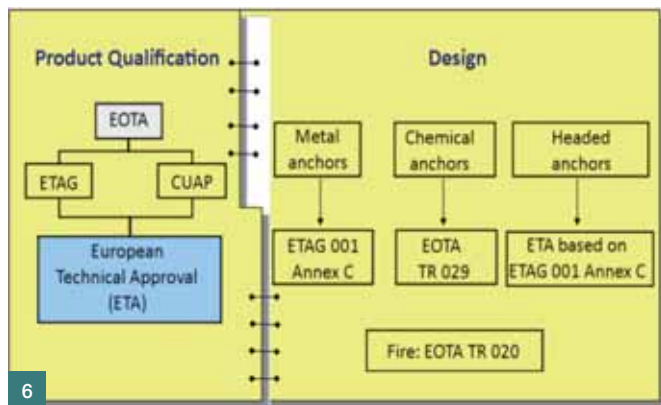
POŽADAVKY NA KOTEVNÍ TECHNIKU A NÁVRH KOTVENÍ

Obecné zásady

Předpisy pro návrh ukotvení zohledňují řadu ovlivňujících faktorů. Např. je třeba zvážit typ kotvy, mechanismus, kterým přenáší zatížení do betonu, vlastnosti materiálu, z kterého je vyrobena, její průměr, vzdálenost od okraje, vzdálenost mezi kotvami, pevnost betonu, hloubku ukotvení; je třeba vědět, zda jsou v betonu v daném místě trhliny či ne, a znát způsob zatížení a jeho směr působení. Dále je třeba zohlednit, jak je zatížení z přikotveného prvku přenášeno do kotvy, jak je zatížení rozděleno na jednotlivé kotvy ve skupině kotev a které zvláštní podmínky je třeba splnit k rozdělení zatížení. Také je popsán zvolený koncept bezpečnosti. Konečně, nejdůležitější část návrhových pravidel uvádí nezbytné kroky k posouzení mezního stavu únosnosti a mezního stavu použitelnosti pro určitá specifikovaná spojení.

Běžné návrhové normy zahrnují přesné vztahy, které předpokládají splnění vybraných požadavků na produkt a jeho instalaci. V popisu produktu tedy musí být jasně a přesně uvedeno, že dané požadavky jsou splněny, aby daný produkt mohl být pro návrh uvažován. Pro projektanta není rozdíl v tom, zda produkt prošel zkouškami tak tak či s dostatečnou rezervou. Z hlediska návrhu mají oba stejnou hodnotu, tj. jsou odolnější, než požaduje norma. Návrhové normy pro kotevní systémy jsou flexibilnější.

Návrh kotvení je založen na výsledcích rozsáhlého experimentálního výzkumu kotevní techniky a odpovídajících postupů jejich vyhodnocení podle postupů European Technical Approval Guideline (ETAG 001 [2]) nebo European Common Understanding Process (CUAP) vycházejících ze specifických vlastností odolnosti jednotlivých produktů a hodnot odpovídajících popsáním případům použití, jak jsou uvedeny v European Technical Approval (ETA) pro jednotlivé kotevní prvky různých výrobců. Tak je definována jednotná a v Evropě širo-



Obr. 4 Typy kotev předem osazovaných do bednění či forem
 ■ Fig. 4 Types of cast-in-place anchors

Obr. 5 Dodatečně instalované kotvy, a) rozpínavé (expanzní) kotvy, b) kotvy se spodním zářezem, c) lepené kotvy
 ■ Fig. 5 Types of post-installed fasteners

Obr. 6 Platné vztahy mezi nařízeními o požadavcích na produkty a předpisy pro návrh jejich použití
 ■ Fig. 6 Actual connection between product qualification guidelines and design provisions

Obr. 7 Nové vztahy mezi nařízeními o požadavcích na produkty a předpisy pro návrh jejich použití
 ■ Fig. 7 Upcoming connection between product qualification guidelines and design provisions

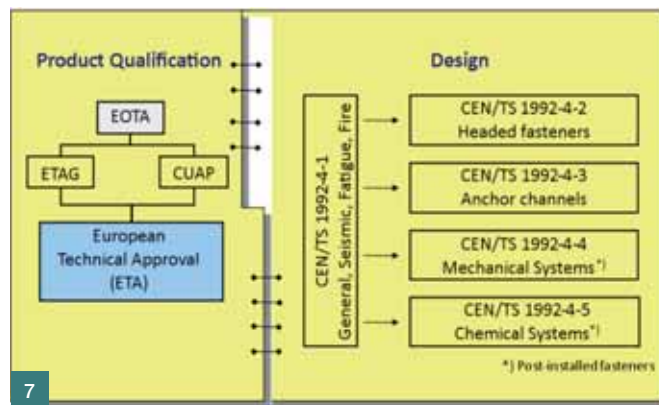
ce akceptovaná úroveň kvality kotevních systémů. Současně je nezbytné, aby výrobce kotevních prvků doložil na základě interních (výroba) a externích (zkušební laboratoř) zkoušek, že vzorky výrobků, které prošly schvalovací procedurou, odpovídají produktům z běžné výroby nabízeným na trhu.

Při vývoji postupů pro návrh kotevních technologií byly zvažovány a posuzovány hodnoty specifických vlastností popisujících odolnost systému v návrhových vztazích pomocí vhodných součinitelů. Tyto informace jsou zahrnuty v ETA dokumentech pro jednotlivé produkty. To znamená, že bylo dosaženo, že určitý přínos kotvení v konkrétním použití se může promítnout do návrhu. Jestliže např. potenciál nebo oblast použití kotevní techniky se zlepšuje s rozšiřováním znalostí a věděním v této oblasti, mohou být nové znalosti bez průtahů užity pro změnu vztahů v dokumentu ETA úpravou hodnoty odpovídajícího součinitele. Postup návrhu však nemusí být měněn. Z předchozích zkušeností lze říci, že by to byl složitější a delší proces.

Provázání původních a nových požadavků na produkty uplatňovaných v rámci Evropy ukazují obr. 6 a 7.

Evropská nařízení o požadavcích na kotevní techniku

Technologie v oblasti kotvení se v poslední době velmi rychle vyvíjí, stále přibývají nové produkty a rozšiřuje se oblast jejich použití, přesto do teď neexistovala v této oblasti produktová norma. Jako alternativa souboru požadavků ve smyslu zkušebních postupů nebo přijatých kritérií zajišťuje úroveň bezpečnosti požadovanou Evropskou direktivou pro stavební produkty (European Construction Products Directive – CPD) 89/106/EEC k naplnění odpovídajících základních požadavků (essential requirements – ERs) na stavební výrobky. V obou případech jsou kotevní prvky zkoušeny jednotlivě a jejich schopnosti jsou prokazovány na základě ETA. Zkušební postup pro schválení kotevní techniky zatížené požárem už existuje



(EOTA TR 020), ETAG pokrývající seismické namáhání je v procesu přípravy, který bude brzy dokončen, a ETAG pro únavové zatížení bude následovat.

Požadavky na chování kotevních prvků jsou dány podmínkami a okolnostmi ovlivňujícími jejich chování během instalace a v době užívání v konstrukci. Tyto podmínky jsou zohledněny v uspořádání průkazných zkoušek i v hodnotících postupech.

V souladu se stávajícími kritérii jsou připraveny zkoušky k ověřování odpovídajícího chování při přenosu zatížení v běžných podmínkách použití. Chování sledované při zkouškách za běžných podmínek použitelnosti je ověřováno i v náročnějších podmínkách za účelem zvyšování kvality kotevních prvků k spolehlivému zajištění požadované funkčnosti a k zjišťování citlivosti na malé odchylky od běžných podmínek, které se mohou projevit na stavbě, např. užití vrtáku většího průměru, použití menšího krouticího momentu při instalaci kotvy, nevyčištění připravené vyvrtané díry, díra zaplněná vodou, vliv zmrznutí a následného tání ad. Hodnoty získané během těchto zkoušek použitelnosti jsou porovnávány s výsledky referenčních zkoušek a jsou stanovovány prahové hodnoty, kterých musí být dosaženo k zajištění kvality pro schválení. Jestliže není dosaženo prahových hodnot, charakteristická odolnost k publikování v ETA musí být snížena, neboť kotvení by nespĺnilo požadovaná kritéria. Dále jsou sestaveny zkoušky pro ověřování kombinací zatížení a k stanovení kritické a minimální vzdálenosti od kraje, vzdáleností mezi kotvami ve skupině a k stanovení jednotlivých součinitelů užívaných ve vztazích pro návrh kotvení.

Evropské předpisy pro návrhy kotvení

Železobetonové prvky jsou obvykle navrhovány s předpokladem, že v betonu mohou vzniknout trhliny. A trhliny nemusí být vždy způsobeny pouze vnějším zatížením, ale např. omezením dotvarování a smršťování, změnami teploty nebo poklesem podpor. Z těchto důvodů může být pro projektanta obtížné rozlišovat, zda se bude jednat o oblast betonové konstrukce bez trhlin, nebo v ní mohou vzniknout trhliny. Současná doporučení pro návrh kotvení berou tyto nejasnosti v úvahu při sestavování vztahů pro výpočet odporu kotvení v podmínkách betonu s trhlínami. V tomto případě mohou být použity pouze kotevní prvky s označením ETA pro beton s trhlínami i bez nich. Lepší chování kotevních prvků v betonu bez trhlin může projektant ve vztazích zohlednit v posouzení namáhání podle mezního stavu použitelnosti navýšením hodnoty odpovídajícího součinitele.

Pro návrh kotevních prvků se bude používat technická specifikace CEN/TS 1992-4 Navrhování kotvení do betonu (Design of fastening for use in concrete) [3]. Směrnice EOTA pro návrh kotvení do betonu bude stažena.

CEN/TS 1992-4 je rozdělena na pět částí (obr. 7):

- Část 1: Všeobecně
- Část 2: Kotvy s hlavou
- Část 3: Upevňovací lišty/kolejnice
- Část 4: Dodatečně osazované kotvy – Mechanické systémy
- Část 5: Dodatečně osazované kotvy – Chemické systémy

Část 1 je platná pro všechny typy kotevních systémů. Specifická pravidla, která jsou uplatňována pro jednotlivé typy kotevních systémů, jsou obsažena v Částech 2 až 5 CEN/TS 1992-4. Tyto části však musí být v jakémkoliv případě použity ve spojení s Částí 1.

CEN/TS 1992-4 je určena pro návrh jednoduchých kotev a skupin kotev v normálním běžném betonu dle EN 206 s použitím pro případy popsané předpisy, které se odkazují k CEN/TS a poskytují data požadovaná touto normou. Ustanovení o vhodnosti vychází z Evropského technického schválení (ETA) a dalších evropských předpisů.

Technická specifikace CEN/TS 1992-4 uvádí základní principy návrhu, tj. informace o stanovení účinků působících na kotvení, koncept bezpečnosti a dílčí součinitele, které mohou být použity, společně s požadavky na základní materiál konstrukce – beton bez trhlin či s trhlinami. Dále uvádí pravidla pro posouzení podle mezního stavu únosnosti, mezního stavu použitelnosti, mezního stavu únavy způsobeného opakovaným namáháním stejně jako ověření odolnosti proti seismickému zatížení. Proces přípravy pokynů pro kotevní prvky odolné seismickému zatížení ještě probíhá. Mimo to jsou v technické specifikaci CEN/TS 1992-4 obsaženy i informace pro návrh kotvení podle teorie plasticity se zřetelem na trvanlivost a návrh na zatížení požárem.

Z hlediska návrhu se ETA pro kotevní lišty/kolejnice bude vztahovat přímo k CEN/TS 1992-4-3. Očekává se, že ETA pro hlavové kotvy bude brzy následovat, protože procedura návrhu podle CEN/TS 1992-4-2 poskytuje významné výhody z hlediska ekonomiky použití hlavových kotev ve srovnání se stávajícím postupem výpočtu podle ETAs (obr. 6). Postup návrhu dle ETAG 001, příloha C pro dodatečně instalované mechanické kotvy bude postupně se zaváděním nové ETA nahrazena CEN/TS 1992-4-4. To samé platí pro dodatečně instalované chemické kotvy, jejichž postup návrhu je nyní obsažen v EOTA TR029 a postupně bude nahrazen CEN/TS 1992-4-5.

Všechny výhody nové technické směrnice CEN/TS 1992-4, např. lepší zohlednění chování kotevních prvků při přenosu zatížení podrobnějším zahrnutím vnitřní výztuže základního materiálu ve srovnání se stávajícími postupy, nemohou být detailně popsány v tomto článku. Podstatné body již byly publikovány, např. [4].

CEN/TS 1992-4 odpovídá předběžným evropským normám s prvním obdobím platnosti omezeným na tři roky. Očekává se však, že toto období bude prodlouženo, aby bylo dostatek příležitostí získat více zkušeností s CEN/TS, než dojde k jejímu převedení na EN 1992-4. To znamená, že až do zavedení budoucí EN 1992-4 je možno zvažovat úpravy technických postupů a zlepšení, jež by vycházely ze získaných praktických zkušeností.

KURZY A ŠKOLENÍ PRO PROJEKTANTY A OSOBY ZODPOVĚDNÉ ZA INSTALACI KOTEV

Na trhu je nabízeno mnoho různých kotevních systémů, aby bylo možno vyhovět širokému spektru požadavků v oblasti dodatečného připevnění na betonové konstrukce a prvky či jejich případnému zpevnění a zesílení. V posledních letech

Literatura:

- [1] *Hoehler M.*: Behavior and Testing of Fastenings to Concrete for Use in Seismic Applications. Dissertation, Universität Stuttgart, Stuttgart, 2006
- [2] EOTA, ETAG 001, P. 1–5: Guideline for European Technical Approval of metal anchors for use in concrete, 2006, Brussels
- [3] CEN/TS 1992-4, P. 1-5: Design of fastenings for use in concrete, 2009, Brussels
- [4] *Eligehausen R., Fuchs W.*: Design of Fastenings for Use in Concrete – the new CEN/TS series, Beton- und Stahlbetonbau, Ernst&Sohn, July 2009, Berlin

byl učiněn významný pokrok na poli porozumění a objasnění chování těchto systémů v různých oblastech jejich použití, návrhovém a instalačním postupům a zejména chemickým kotvám. Ačkoliv je každý den instalováno velké množství kotev, znalosti potřebné pro jejich návrh jsou mezi inženýrskou veřejností stále dosti omezené. Pracovníci prováděcích firem, kteří jsou zodpovědní za instalaci kotev, se musí vyrovnat s mnoha různými technologickými postupy požadovanými pro osazení různých typů kotevních systémů, pokud mají zajistit jejich spolehlivou instalaci. To samozřejmě může vést k nejasnostem, nedorozumění a záměnám.

Na druhé straně ani nejlepší metoda a velmi pečlivé zpracování návrhu nezaručí bezproblémové užití kotevního systému, jestliže byla pro dané užití vybrána nevhodná kotva nebo správná kotva byla nepatřičně osazena. Proto všechna doporučení a předpisy pro návrh předpokládají, že kotevní systémy určené pro přenos vysokého zatížení jsou vybírány, navrhovány a instalovány zkušenými a proškolenými pracovníky. K zajištění zvýšení všeobecných znalostí a povědomí o dané oblasti jak u projektantů, tak i u pracovníků na stavbách zodpovědných za instalaci kotev, jsou různými organizacemi i výrobci připravovány a pořádány semináře o kotevní technice s různým zaměřením.

ZÁVĚR

Současné kotevní systémy jsou spolehlivé, ekonomické a poskytují zajištění mnohostranných potřeb stavební praxe. Jejich optimální použití je možné při použití Evropského technického schválení (ETA) a předpisů pro jejich návrh publikovaných v EOTA a souboru CEN/TS 1992-4.

Vzrůstající povědomí o použití specifických výběrových a návrhových ustanovení, předpisů a požadavků, stejně jako vzdělávání projektantů ve vybraných metodách používaných pro návrh a pracovníků zodpovědných za osazení systémů o požadovaných technologických postupech zvyšuje jejich užitnou hodnotu.

Je důležité si stále uvědomovat, že i nejdražší kotevní systémy, jejich návrh a instalace tvoří téměř zanedbatelnou část celkových nákladů na stavbu. Jejich selhání však může způsobit velké hmotné škody a dokonce ohrožení lidských životů.

Spojení – jejich správný návrh a pečlivá instalace založená na současných předpisech a doporučeních – jsou velmi podstatné pro realizaci i následný provoz stavebního objektu.

Prof. Dr.-Ing. Rolf Eligehausen
e-mail: sekretariat-eligehausen@iwb.uni-stuttgart.de



Dr.-Ing. Werner Fuchs
e-mail: fuchs@iwb.uni-stuttgart.de

oba: Institute of Construction Materials
University of Stuttgart Germany