

K NOVÉ MODELOVÉ NORMĚ PRO NAVRHOVÁNÍ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

TOWARD A NEW MODEL CODE FOR CONCRETE STRUCTURES

JOOST WALRAVEN

HISTORIE MODELOVÉ NORMY

Výbor CEB byl založen v roce 1953 jako Comité Européen du Béton (Evropský výbor pro beton). Jeho zakladatelé, Balency-Béam, Nennig, Base, Rüschi, Torroja a Wästlund, kteří se rekrutovali z řad výrobců betonu, stavebních společností a z oblasti výzkumu, se domnívali, že stavby z betonu a jejich návrhy by se v poválečné Evropě měly řídit společnou koncepcí. Největší problém představovala nevyváženost v té době užívaných norem v Evropě a omezenost jejich vědeckých základů. Od počátku byl proto cílem CEB vývoj evropské modelové normy. Realizace tohoto cíle byla naplánována ve dvou krocích – rozvoj vědeckého přístupu a vyvážená příprava modelové normy.

Během zpracovávání první Modelové normy byl navázán kontakt s další velikou mezinárodní organizací Fédération Internationale de la Précontrainte, FIP, kterou v roce 1952 založili průkopníci předpínání Freyssinet, Torroja a Magnel. Také FIP si kladla za cíl šířit vědomosti a propagovat myšlenky předpínání, designu a technologií v celosvětovém měřítku. Na vytváření nadnárodních doporučení se tak podíleli odborníci z obou těchto organizací.

Nejvýznamnější dosažené úspěchy CEB a FIP:

- 1964 první Mezinárodní doporučení CEB International, přeloženo do 15 jazyků
- 1970 druhá Mezinárodní doporučení CEB/FIP
- 1978 první Modelová norma CEB/FIP
- 1990 druhá Modelová norma CEB/FIP (obr. 1)

Druhá Mezinárodní doporučení CEB/FIP byla důležitým vývojovým krokem, protože představovala první společnou základnu nových národních norem, které se do té doby velmi lišily. Nejdůležitějším průlomem bylo zavedení nové filozofie bezpečnosti založené na mezních stavech a dílčích bezpečnostních faktorech.

Bezpečnostní koncepty sedmdesátých let byly zpracovávány semi-probabilistickými přístupy a postupně se základem kvalitnějšího hodnocení bezpečnosti staveb a vědeckějšího vymezení dílčích bezpečnostních faktorů staly reálné pravděpodobnostní analýzy. V modelových normách z let 1978 a 1990 byly propracovány přesnější reprezentace chování kon-

strukcí z předpjatého a armovaného betonu a byly zde zařazeny i nové kapitoly o vlastnostech používaných materiálů, inspirované nově vzniklou možností analýzy chování konstrukcí nelineární metodou konečných prvků.

V té době již bylo zřejmé, že pouhé poskytnutí receptur pro specifické případy není dostačující. Základní hodnoty normy (kodexu) se stala transparentnost. Modelová norma byla proto uspořádána tak, že na stránkách vpravo byla uvedena doporučení, zatímco na levých stránkách bylo vysvětlení. Pozadí Modelové normy z roku 1990 bylo podrobně zpracováno v tzv. Učebnici modelové normy (obr. 2), která měla tři svazky.

V té době došlo ke splynutí organizací CEB a FIP a vznikla tak nová organizace **fib** Fédération Internationale du Béton (Mezinárodní federace pro beton). Jedním z hlavních cílů této organizace nadále zůstává vývoj mezinárodních doporučení pro návrh betonových konstrukcí a staveb s ohledem na nejnovější poznatky a filozofii navrhování.

ZÁKLADNÍ POŽADAVKY NA MODELOVOU NORMU

Jednání o základních požadavcích na modelovou normu byla vedena při nejrozličnějších příležitostech [1] a [2]. V základních principech, které je třeba dodržovat, existuje shoda:

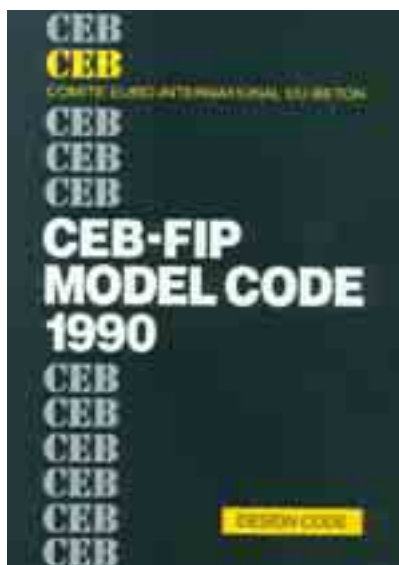
- Normy by měly být založené na jasných a vědecky fundovaných teoriích. Také by měly být konzistentní a souvislé a měly by odpovídajícím způsobem reprezentovat chování konstrukce a fyziku materiálu.
- Normy by měly být srozumitelné. Tím se kromě jiného myslí i to, že nejsou vypracovávány pro ty, kteří je stvořili, ale pro ty, kteří je budou používat.
- Je důležité uplatňovat nové poznatky v co největší míře, nikoliv však za cenu vytváření složitých teorií.
- Norma by měla být nepředpojatá, což znamená, že se nesmí zakládat pouze na jedné teorii s vyloučením ostatních. Je možné nabídnout typy v rozdílných stupních složitosti. Některé projekty většího rozsahu mohou vyžadovat velice důkladné analýzy z důvodů vysokých požadavků na bezpečnost. V takových případech by použití vysoce náročných analýz, které jsou nad rámec možností běžných projektantů, nemělo být omezeno příliš rigorózními definicemi

Obr. 1 Modelová norma CEB/FIP 1990

Fig. 1 CEB/FIP Model Code 1990

Obr. 2 Učebnice modelové normy svazek 1

Fig. 2 Model Code textbook, Vol. 1





Obr. 3 Most Rion Antirion během stavby, návrh založený na nelineárním časovém průběhu dynamické odezvy

Fig. 3 The Rion Antirion Bridge during construction, design based on a non-linear time history of the dynamic response

a omezení. Např. předběžné vymezení koeficientu chování ztrácí význam, pokud je možné vypracovat nelineární časový průběh dynamické odezvy, tak jako v případě mostu Rion Antirion (obr. 3) [1].

- Norma by měla být tak jednoduchá, aby ji bez větších problémů mohli používat i pracovníci z praxe. Jednoduchost by však neměla vést k nedostatečné přesnosti. Zde platí slavná věta Alberta Einsteina, který kdysi řekl, že „teorie by měla být tak jednoduchá, jak jen to jen možné, nikoliv však jednodušší.“ Také je třeba správně porozumět pojmu „přesnost“. Velmi „přesné“, vědecky odvozené formulace často nevedou k přesným výsledkům, protože není možné přesně odhadnout vstupní hodnoty. Příkladem je výpočet dlouhodobé deformace od dotvarování, na které má vliv teplota a vlhkost okolí, kolísání zatížení a postup výstavby.
- Norma může mít různé úrovně složitosti. Lze např. uvést jednoduchá, praktická pravidla, podle kterých lze postavit konzervativní a robustní stavby. V mnohých případech však lze také použít alternativní, podrobnější postupy (u nichž propočty trvají déle, výsledkem je však ekonomičtější konstrukce).

NOVÉ TRENDY A SMĚŘOVÁNÍ

Nová modelová norma by měla být něčím více, než pouhým

Obr. 4 Koroze betonového zábradlí: ztráta funkčnosti betonové konstrukce ve dvojnásobném smyslu

Fig. 4 Corrosion of a concrete guardrail: declination of a concrete structure in a double sense



dokumentem zachycujícím nové vědomosti v oblastech, kterými se zabývala Modelová norma z roku 1990. Měla by také představit nové trendy a vypořádat se s novými požadavky, které nebyly v minulosti tak naléhavé nebo vůbec neexistovaly. Jedním z takovýchto požadavků je potřeba diagnostiky, oprav a přestaveb starších konstrukcí. S tím přímo souvisí i přesun akcentu na životnost projektovaných staveb v důsledku vzrůstajících nákladů na modernizaci, případně přestavby nebo odstraňování stávajících staveb. V následující části článku jsou některé z uvedených aspektů vymezeny a rozvedeny.

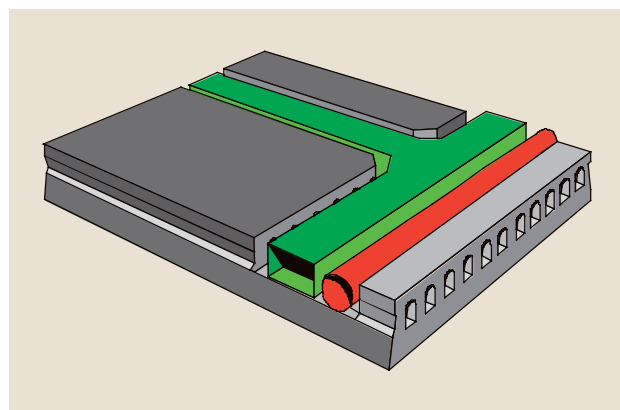
Vývoj integrálního přístupu k projektu a výstavbě

Při návrhu konstrukce je nutné si uvědomit, že je třeba mít na zřeteli nejen bezpečnost a životnost stavebního objektu, které kladly do popředí tradiční normy. Na prvním místě je třeba zohlednit vliv času v nejširším smyslu slova. Ze zkušenosti jsme se naučili, že náklady na optimalizaci konstrukce zahrnují i náklady na její údržbu. Sitter (1984) svým výrokem „Pokud není prováděna údržba, bude nutné provést opravy ve výši pětinašobku nákladů na údržbu. Nebudou-li provedeny ani tyto opravy, mohou náklady na obnovu dosáhnout až pětinašobku výše nákladů na opravy. Proto jakýkoliv odklad údržby znásobuje množství odkládaných prací...“ zavedl pravidlo pětinašobku. A mělo by být zdůrazněno, že prvotní návrh stavby může do značné míry snížit budoucí náklady na údržbu.

Musíme si taktéž uvědomit, že „životnost“ může být ukončena z nejrůznějších důvodů. Je třeba rozlišovat mezi „technickou životností“, „funkční životností“ a „ekonomickou životností“. Technická životnost objektu končí tehdy, když už není kvůli poškození schopen plnit svou funkci s dostatečnou mírou bezpečnosti nebo funkčnosti vůbec (obr. 4). Funkční životnost končí, když stavba nemůže nadále plnit své původní funkce v důsledku změny provozních podmínek, tedy např. kvůli nárůstu dopravní zátěže či intenzity. Např. životnost budovy není většinou ukončena kvůli fyzickému zchátrání, ale v důsledku vývoje názorů

Obr. 5 Prefabrikovaná betonová podlaha s vyměnitelným systémem vedení prodlužuje funkční životnost budovy

Fig. 5 Prefabricated concrete floor with exchangeable duct system for extending the functional service life of a building



na ubytování nebo potřebnost zařízení. Tomuto lze předcházet návrhem adaptabilních struktur (obr. 5). Ekonomická životnost objektu končí tehdy, když náklady na modernizaci nebo adaptaci převyšují náklady na demolici a přestavbu.

Faktory, které jsme právě načrtli, ilustrují nutnost zvážit životnost budovy již ve fázi projektu a to včetně nákladů, které vzniknou až po předání stavby. V optimálním projektu je zohledněna nejen bezpečnost, životnost a trvanlivost, ale také snadnost provedení, udržování a popřípadě i stržení stavby.

Projekt se zřetelem na životnost

Projekty, ve kterých je zohledněna životnost objektu, budou mít v budoucnosti stejný význam, jako projekty zaměřené na bezpečnost a praktičnost. Zde je nutné pojmově rozlišovat mezi projekty zaměřenými na provozní životnost (zabývají se problémy jako je „funkční provozní životnost“ a „ekonomická provozní životnost“) a přístupy, které jsou přímo zaměřeny na eliminaci nebo zpoždění procesů chátrání a které se více vztahují k „projektům zaměřeným na technickou provozní životnost“. V rámci fyzického chátrání rozlišujeme procesy jako je penetrace chloridů, karbonace, účinky cyklického zmrazování, chemické vlivy, tvorba etringitu a alkalicko-křemičitá reakce, se kterými se lze vypořádat v zásadě dvěma způsoby:

- **zabránění chátrání** – toho lze dosáhnout pomocí:
 - použitím membrán nebo ochranných vrstev
 - použitím nereaktivních materiálů (nerezová ocel)
 - katodickou ochranou
- **zpoždění doby fyzikální reakce** – toho lze dosáhnout následovně:
 - přístupem, kdy navržené prostředky jsou považovány za dostatečné (splňují předem definované požadavky ohledně ochrany a složení betonové směsi)
 - přístupem pravděpodobnostního modelování (pravděpodobnost koroze je vypočítávána na základě fyzikálních modelů, např. druhý Fickův zákon difuze). V takovém případě je nezbytné správně určit míru environmentální zátěže a kritické koncentrace škodlivých látek (např. chloridů).

Tematická skupina *fib* 5.6 vedená prof. Schießlem z TU v Mnichově v současné době vypracovává průvodce projektování zaměřeného na technickou životnost. Základy průvodce budou součástí nové modelové normy.

Zavedení nových typů betonu

V minulé dekádě byla vyvinuta nová generace vysokopevnostních betonů. V poslední verzi Eurokodu-2 jsou již návrhová doporučení rozšířena o nejvyšší třídu pevnosti betonu C90/105. Pevnost betonu v tlaku u některých projektů však dosahuje i dvojnásobku těchto hodnot, např. části viaduktu Bourg-les-Valences ve Francii (obr. 6). Mostní nosníky byly vyrobeny z vysokopevnostního vláknobetonu s průměrnou krychelnou pevností 255 MPa. Je zřejmé, že mechanické vlastnosti takového betonu se nevztahují pouze na válcovou nebo krychelnou pevnost jako u běžného betonu. Je proto nutné definovat další metody testování. Očekává se, že beton bude v budoucnosti stále častěji navrhován tak, aby měl určité požadované vlastnosti, spíše než jen vysokou pevnost (definované funkční betony). Např. samozhutnitelné betony, speciální vláknobetony, betony s malým množstvím pojiva, betony, v nichž je jako kamenivo využito materiál z demolic různých typů a množství, a betony se zvýšenou žáruvzdorností získávají na popularitě. To však také znamená, že je nutné řádně stanovit postupy přejímky, aby se usnadnilo a zajistilo spolehlivé používání těchto „definovaných funkčních betonů“.

Kapitola „Beton“ nové modelové normy se bude zabývat položkami jako:

- vlastnosti „běžného betonu“ s tlakovou pevností do C120 (veškeré informace jsou nyní běžně dostupné, včetně samozhutnitelného betonu, lehkého betonu a vláknobetonu),
- vlastnosti speciálních betonů pevnostních tříd do C120 (samozhutnitelný beton, lehký beton, vláknobeton, textilní beton, beton s nízkým obsahem pojiva),
- speciální betony pevnostních tříd C120 až C200,
- betony s recyklovanými komponenty,
- vylepšené betony.

Vlastnosti betonu mohou být formulovány na různých úrovních:

- klasické formulace založené na pevnosti betonu v tlaku,
- pokročilejší formulace, které budou zahrnovat i vlivy, jako je použitý typ cementu, jeho množství a hodnota vodního součinitele,
- formulace založené na testech (pro tento případ bude v normě popsáno několik kvalifikačních testů).

Obr. 6 Viadukt Bourg-les-Valences, betonové trávce pevnostní třídy C200
Fig. 6 Viaduct Bourg-les-Valences, concrete beams in strength class C200



Obr. 7 Samozhutnitelný beton
Fig. 7 Self-compacting concrete





Obr. 8 Test části mostu poškozené alkalicko-křemičitou reakcí
Fig. 8 Test of a part of a bridge, attacked by the alkali silica reaction

Přestavby a zjišťování únosnosti konstrukcí

Nové normy byly doposud sestavovány téměř výlučně pro projekty nových budov. V dnešní době se však modernizace stávajících konstrukcí stává významnou součástí každodenní práce inženýrů. Mnohé ze starších konstrukcí jsou do různé míry zchátralé a dopravní zatížení je vyšší a intenzivnější. Nová modelová norma nabídne metodiku ohodnocení stávajících konstrukcí od odebírání vzorků až po testování konstrukcí jako celku. Test určení zbytkové únosnosti betonového dílu viaduktu, poškozeného alkalicko-křemičitou reakcí, provedený na TU v nizozemském Delftu je na obrázku 8.

Větší pozornost bude věnována spolehlivosti oprav (obr. 9) a zpevňujícím technikám, zaměřeným např. na dostatečnou smykovou únosnost mezi starým a novým betonem, technikám využívajícím různých typů zvršňku přilepených výtuh a opravám trhlin a scházejících částí.

Nová návrhová kritéria

V minulosti musely projekty splnit podmínky mezního stavu únosnosti (ULS) a mezního stavu použitelnosti (SLS). ULS byl v zásadě stanovován pro statické zatížení a u SLS byly sledovány průhyby a šířka trhlin.

Zkušenosti s poškozeními ukázaly, že následujícím kritériím projektů není věnována dostatečná pozornost:

- **Únava** – hmotnost betonových staveb byla doposud tak vysoká, že kritérium únavy mělo velmi malou praktickou důležitost. Nyní jsou však vyvíjeny betony s vysokou a velmi vysokou pevností a stavby z nich postavené jsou natolik lehké, že



Obr. 9 Oprava mostovky vysokopevnostním vláknobetonem
Fig. 9 Repairing a bridge deck with high performance fibre reinforced concrete

vyšší dopravní zatížení spolu se značnou frekvencí si vynucují kontroly únavy. Měření dopravy prováděná v Nizozemí prokázala, že hodnota kolísání zátěže 10^8 je mnohem realističtější, než hodnota 10^6 používaná v současných projektech.

- **Těsnost** – zatékání do staveb se stává často zdrojem obav u konstrukcí pod hladinou spodní vody (obr. 10). Logickým krokem je proto doporučení snížení rizika zatékání a průsaku, které mohou mít velmi závažné finanční důsledky.
- **Požár** – četné katastrofy nedávné doby opět zřetelně poukazují na důležitost odolnosti konstrukcí vůči požáru. Doposud se ve smyslu odolnosti proti požáru uvažovalo spíše ve smyslu nosné odolnosti prvků než ve smyslu odolnosti celé stavby. Tématická skupina *fib* 4.3 se zaměřuje na odolnost staveb proti požáru, přičemž využívá poznatků nauky o materiálu i stavebních aplikací. Doporučení budou publikována v Bulletinu *fib*. Výsledky budou začleněny do nové modelové normy.
- **Zemětřesení** – autoři nové modelové normy jsou přesvědčení, že projekty zaměřené na odolnost proti zemětřesení by neměly být pojednávány zvláště na samostatné bázi v oddělených předpisech. Proto bude v nových modelových předpisech zařazena kapitola týkající se zemětřesení.
- **Robustnost** – v důsledku aplikace nových metod mizí robustnost, kterou nacházíme u starších staveb. Moderní stavby jsou proto citlivější a vyžadují více ohledů, než starší, mnohdy až nadbytečně masivní, konstrukce. Citlivost staveb k náhlému kolapsu si zasluhuje více pozornosti (obr. 11).

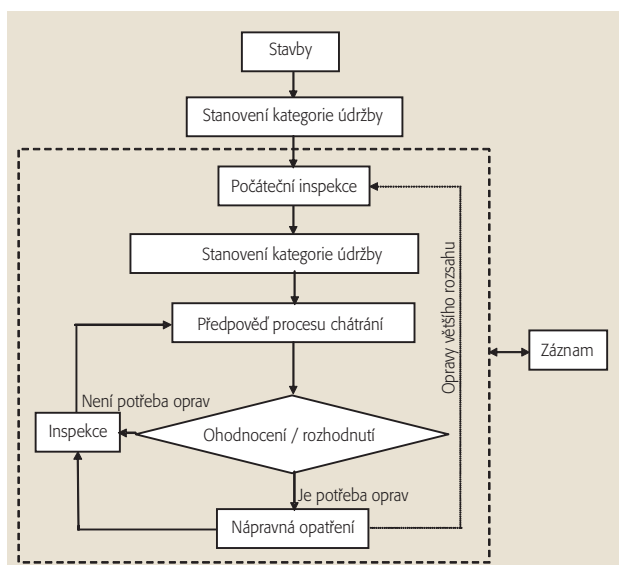
Obr. 10 Netěsnost v podzemním parkovišti

Fig. 10 Lack of tightness in an underground parking garage



Obr. 11 Náhlé zřícení několika balkonů, Maastricht, Nizozemí, 2003

Fig. 11 Progressive collapse of a series of balconies, Maastricht, The Netherlands, 2003



Obr. 12 Plán údržby betonové stavby

Fig. 12 Schedule of maintenance for a concrete structure

Vliv kvality stavby

Již mnohokrát bylo řečeno, že navrhovat stavební konstrukci se zaměřením na maximální životnost není reálné, protože špatná kvalita stavebního procesu může vše zvrátit. Je tomu vskutku tak, kvalita stavebního procesu představuje velmi důležitý faktor. Důležitými aspekty ve stádiu stavby jsou: betonáž, zhutnění, ošetřování, bednění a odbednění, umístění výztuže, volba směsi, pracovní podmínky a zajištění kvality.

Strategie výroby betonových konstrukcí s nízkými náklady na údržbu je, navzdory všem nebezpečím, na která lze narazit při stavebním procesu, důležitá. Na obrázku 12 je v diagramu zob-

Literatura:

- [1] Virlogeux M., Walraven J. C.: "The development of an international codification for structural concrete with the CEB-FIP Model Codes", Concrete Model Code for Asia, IABSE Colloquium, Phuket, 1999
- [2] Walraven J. C.: "Thinking about codes", Structural Concrete, Journal of the fib, 2004, Nr. 3, pp. 93–100

razena strategie optimální údržby. Na počátku stojí vymezení programu údržby. Po dokončení stavebních prací, při předání stavby se provede prvotní inspekce, při které se zkontroluje, zda bylo dosaženo požadované kvality stavby. Počáteční stav stavby (podrobnosti o stavbě a údaje o jejím počátečním stavu) je zdokumentován ve zprávě (křestní list). Kategorie údržby může být na základě této zprávy znovu definována. V případě, že se dodavatel nepodařilo dosáhnout kvality uvedené ve smlouvě, může to pro něj mít jisté následky – povinnost vylepšit stavbu nebo zaplatit investiční náklady na dražší údržbu v budoucnosti. Je-li stanovena kategorie údržby, znamená to, že vývoj chátrání stavby je předvídaný. Provádí se pravidelné kontroly, na jejichž základě mohou být vykonávány opravy menšího i většího rozsahu. Po provedení každé opravy je opět provedena inspekce a její výsledky jsou zaznamenány.

STRUKTURA NOVÉ MODELOVÉ NORMY

Obsah nové modelové normy je uveden v tabulce 1. Z její struktury je myšlenka navrhování se zaměřením na životnost jasně patrná. V současné době na prvním konceptu nové modelové normy pracuje tým asi dvaceti pěti expertů z různých zemí. Očekává se, že koncept bude hotov koncem roku 2007.

Tab. 1 Obsah nové modelové normy

Tab. 1 Contents of New Model Code

Prof. dr. ir. Joost C. Walraven
Delft University of Technology
The Netherlands

Část 1: Všeobecně

1. Rozsah
2. Terminologie
 - 2.1 Definice
 - 2.2 Značení
3. Základní principy
 - 3.1 Všeobecné požadavky
 - 3.2 Spolehlivost
 - 3.3 Požadavky na pevnost
 - 3.4 Zajištění kvality
 - 3.5 Ekologické aspekty
 - 3.6 Estetika a integrace

Část 2: Základní údaje návrhu

4. Materiály
 - 4.1 Beton
 - 4.2 Ocelová výztuž
 - 4.3 Předpínací výztuž
 - 4.4 Systémy předpínání
 - 4.5 Nekovová výztuž
 - 4.6 Vlákna/vláknobeton
5. Charakteristiky styčných ploch
 - 5.1 Vazba
 - 5.2 Beton na beton
 - 5.3 Beton na ocel

Část 3: Navrhování

6. Projekt
 - 6.1 Všeobecný
 - 6.2 Koncepční
 - 6.3 Strukturální analýza (modely)
 - 6.4 Projekt zaměřený na MSU (ULS)
 - statická zatížení
 - únava
 - náraz
 - zemětřesení
 - požár
 - exploze
 - 6.5 Projekt zaměřený na MSP (SLS)
 - deformace
 - trhliny
 - těsnost
 - vibrace
 - 6.6 Projekt zaměřený na životnost
 - zamezením reakcím
 - deterministický
 - 6.7 Projekt pomocí testování
 - 6.8 Propracování detailů

Část 4: Stavební proces

7. Stavební proces
 - 7.1 Všeobecně
 - 7.2 Bednění a pažení
 - 7.3 Ocelová výztuž
 - 7.4 Předpínání
 - 7.5 Betonáž

Část 5: Údržba

8. Údržba
 - 8.1 Všeobecně
 - 8.2 Inspekce
 - 8.3 Mechanismus chátrání a předpověď poškození
 - 8.4 Zhodnocení a rozhodování
 - 8.5 Nápravná opatření
 - 8.5 Záznamy

Část 6: Demolice

9. Demolice