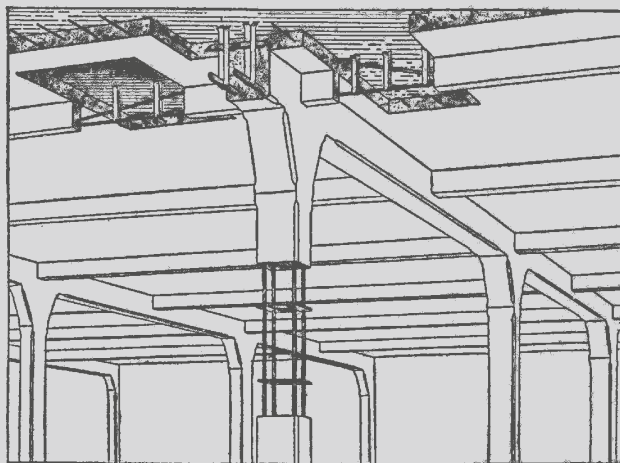


NÁRODNÍ PAMÁTKOVÝ ÚSTAV
metodický list MCMA v Brně

Průzkumy a opravy železobetonových konstrukcí



BRNO 2018

**Průzkumy a opravy
železobetonových konstrukcí
meziválečného období**

**Petr Cikrle,
Vlasta Loutocká,
Jitka Uchytlová**

Tato metodická publikace Národního památkového ústavu, Metodického centra moderní architektury v Brně vznikla v rámci udržitelnosti projektu „Centrum obnovy památek architektury 20. století“ (COPA), jenž byl spolufinancován Evropskou unií prostřednictvím Evropského fondu pro regionální rozvoj.

Národní památkový ústav jako odborná organizace státní památkové péče v České republice vydává metodiku v zájmu zabezpečení jednoty metodických hledisek pro danou oblast ochrany, dokumentace a evidence kulturních památek, památkových území a dalších kulturně-historických hodnot na základě svých kompetencí podle § 32 odst. 1 zákona č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči, ve znění pozdějších předpisů.

Lektoroval:

prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc.

© 2018, Národní památkový ústav

Text: © 2018, doc. Ing. Petr Cikrle, Ph.D., Ing. arch. Vlasta Loutocká, Bc. Jitka Uchytílová

Fotografie: © 2018, Národní památkový ústav a autoři

ISBN 978-80-7480-123-5

Titulní strana obálky: Monolitická soustava Hennebique použitá poprvé v roce 1879 (reprodukce z Klokner, 1909)

Zadní strana obálky: Betonová konstrukce s ocelovou výztuží. Bazén zámku Napajedla, 30. léta 20. stol. (foto Vlasta Loutocká)

Odborná metodika Národního památkového ústavu, Metodického centra moderní architektury v Brně



NÁRODNÍ
PAMÁTKOVÝ
ÚSTAV



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
ŠANCE PRO VÁS ROZVOJ



MINISTERSTVO
PRO MÍSTNÍ
ROZVOJ ČR

Obsah

Cíl a uplatnění metodického listu.....	4
Beton – jeho definice a historie.....	4
Doba od starověku do průmyslové revoluce.....	4
Vývoj betonového stavitelství ve světě do roku 1900.....	5
Vývoj betonového stavitelství v našich zemích.....	8
Betonové mosty.....	9
20. století.....	9
Hlinitanový cement.....	12
Vady a poruchy betonových konstrukcí.....	15
Průzkumy a zkoušky betonových konstrukcí.....	18
Průzkumy.....	18
Zkoušky betonu.....	22
Výztuže (oceli).....	26
Zpracování výsledků STP – stavebně technického průzkumu (zatřídění podle TP SSBK III).....	29
Doporučené postupy pro sanaci poruch a zpevnování konstrukcí	32
Technologické postupy při jednodušší opravě poškozených míst.....	32
Statické zajištění konstrukce.....	34
Příklady z praxe.....	35
Příklady průzkumů.....	35
Následky nevhodného zásahu do konstrukce.....	43
Závěr.....	45
Použitá literatura a zdroje.....	52

Cíl a uplatnění metodického listu

Železobeton coby mladý a perspektivní konstrukční materiál se stal součástí většiny staveb architektury 20. století. Dynamický vývoj železobetonu, norem pro jeho výrobu či měnící se metodika statických výpočtů však způsobuje značné problémy při novodobých opravách. A nejen při nich – odlišný způsob nazírání na železobetonové konstrukce ovlivňuje také hodnocení stavu dochování historických staveb a možnosti jejich ochrany. Z pohledu dnešních nároků na vlastnosti železobetonových konstrukcí je snadné prohlásit, že budova staticky nevyhovuje, a to je důvodem její demolice nebo alespoň náhrady či doplnění nosného systému. Dnešním normám pro novostavby však nevyhoví většina betonových konstrukcí z období před II. světovou válkou.

Cílem tohoto metodického listu je uvést odbornou veřejnost (památkáře, projektanty, investiční techniky) do problematiky historických železobetonových konstrukcí, osvětlit jejich vývoj a nároky na mechanické vlastnosti materiálu. Dokument zároveň nastiňuje možnosti průzkumu a hodnocení nosných konstrukcí v souvislosti s ČSN ISO 13822. V neposlední řadě se metodický list věnuje způsobům opravy a rekonstrukcí, vzhledem k rozsahu tohoto materiálu je však spíše stručným úvodem do problematiky, která by měla být v dalších letech zpracována komplexně.

Beton – jeho definice a historie

Doba od starověku do průmyslové revoluce

Beton je stavební materiál, který – sledujeme-li jeho historický vývoj, provází člověka již několik tisíciletí. Můžeme ho definovat jako umělý slepenec různých složek, vznikající spojením pojiva, plniva, vody a eventuelně dalších příměsí a přísad. Původ slova beton není dosud přesně objasněn. Je možno ho odvozovat od latinského slova *bitumen* nebo starofrancouzského názvu pro zdivo či starofrancouzského slova *beter*, což znamená tuhnout. S takovým výkladem by se shodoval i anglický výraz pro beton – *concrete*, který vznikl z latinského *concrecere* – tuhnout.

Pravděpodobně prvním, kdo použil slova beton v dnešním významu, byl v první polovině 18. stol. Francouz B. F. de Belidor¹, který je považován za otce moderního vodního stavitelství.

Používání technologie betonu se datuje až do doby kolem roku 3600 př. n. l., kam Plinius starší, římský válečník a filosof, datoval sloupy postavené z umělého kamene v Egyptě. Soustavnější používání připisujeme pravděpodobně Féniciánům, kteří kolem roku 1000 př. n. l. touto technologií stavěli velké vodní cisterny a vodovodní přivaděče v Jeruzalémě a stavby sloužící asyrskému královskému městu Ninive k zásobování vodou. Féniciánům připisujeme i objev hydraulických vlastností směsi vápna a sopečného tufu nalezené na kamenných

1 **B. F. de Belidor** (1698–1761) byl francouzský vojenský inženýr, profesor a člen Akademie věd. Kromě řady dalších děl vydává v roce 1737 svoje stěžejní dílo *L'Architecture hydraulique*, které je ve své době základní učebnicí pro budoucí inženýry v oboru mostního a silničního stavitelství.

cisternách z 3. století př. n. l. na ostrově Santorini. Dá se ale předpokládat, že Féniciané přebírali starší empirické zkušenosti. O takové směsi píše Vitruvius:

Puteolský práškovitý písek: Existuje také jeden druh práškovitého písku, který vytočíte přirozeným způsobem podivuhodné věci. Vyskytuje se v krajích u Bají na území městeček ležících okolo hory Vesuvu. Tento práškovitý písek, smíšen s vápnem a kusovým kamenem, dodává pevnosti nejen stavbám vůbec, ale dokonce s jeho pomocí tordnou pod vodou i hráze stavěné v moři.²

Pro sledování vývoje betonového stavitelství je neméně zajímavá pasáž téhož autora v knize druhé, kapitole VIII. Způsoby vyzdívání:

Jiný způsob zdění nazývá se enplekton³ (výplňový). Užívají ho i naši ovenkované. Při něm se po obou stranách postaví hladce zarovnané čelné zdi, ostatek se vyzdívá kamením ve stavu, v jakém se vyskytuje, a maltou, při čemž onitřek naváže (na čelné zdi).⁴

Vitruvius zmiňuje návaznost tohoto způsobu zdění na znalost přejatou od řeckých stavitelů.

Z antických betonových staveb uvedme alespoň Pantheon, vybudovaný v letech 120–125 n. l. Jeho kopule má průměr 49 m, konstrukce z lehkého betonu je vylehčena kazetami. Další zajímavou stavbou jsou lázně Caracalla Marka Aurélie postavené okolo roku 212 n. l. Zde byly provedeny první pokusy o vyztužení betonu bronzovými a železnými tyčemi.

Po této slavné kapitole upadl beton téměř v zapomnění. Stavitelé ho využívali pouze lokálně v návaznosti na místní přírodní zdroje.

Vývoj betonového stavitelství ve světě do roku 1900

Rozvoj průmyslové výroby během 17. a 18. století s sebou nese nutnost výstavby nových zařízení a s tím související potřebu nových odpovídajících materiálů. Stoupá zájem o pojiva odolná působení vody, který vychází z potřeby stavět zejména přístavy a další hydrotechnické stavby v moři. Následuje horečné hledání vhodných surovin, které přinášejí ale mnohdy velmi sporadické výsledky. Průlomem je až stavba Smeatonova⁵ majáku na nebezpečném Eddystonském skalisku v moři jižně od Plymouthu. Je zde poprvé použito přirozeného hydraulického vápna, které tuhne pod vodou. Je možná zajímavé zmínit, že Smeaton vyvinul rovněž pro tuto stavbu speciální techniku čepování žulových bloků používáním rybinových spojů a mramorových spojovacích kolíků. V knize popisující stavbu i konstrukci majáku definuje Smeaton jako první vliv složení (obsahu hlinitých příměsí) vápence na jeho vlastnosti a tedy vhodnost užití ve vodním stavitelství.

2 VITRUVIUS. *Deset knih o architektuře*. Praha: nakladatelství Svoboda 1979. s. 72.

3 Enplekton, častěji zvaný emplekton, nepochybně přispěl k dynamice a zdokonalení stavební činnosti a pomohl vytvořit řadu technicky unikátních staveb. Emplekton je možno považovat za přímého předchůdce dnešního betonu. Římané později nazývají emplekton výrazem „opus caementum“.

4 Viz pozn. 2, s. 80.

5 **John Smeaton** (1724–1792) byl anglický stavební inženýr odpovědný za projektování mostů, průplavů, přístavů a majáků. Je často považován za „otce stavebního inženýrství“. Byl více než schopný strojní inženýr a významný fyzik, současně byl také členem Lunar Society a autorem mnoha vynálezů.

V roce 1796 přihlašuje J. Parker, pravděpodobně inspirovaný Smeatonem, anglický patent postupu drcení a pálení vhodné vápencové suroviny nazvaný románský cement. Ten se stal na více než padesát let převažujícím typem hydraulického pojiva.

Podobný druh hydraulické malty vyvinul rovněž Louis Vicat.⁶ Vicatova malta byla populární, byl z ní postaven například most Souillac (1818),⁷ ovšem zanedlouho ji nahradil portlandský cement. Vicatova jehla pro zkoušení tuhnutí cementu se však používá dodnes.

Dalším mezníkem ve vývoji hydraulických pojiv se stává patent přihlášený v roce 1824 J. Aspdinem pod názvem *Zlepšení ve výrobě umělého kamene*. Aspdin v roce 1825 zakládá továrnu, ve které vyrábí surovinu pod názvem *Portlandský cement*. Je však nutno konstatovat, že kvalita vyráběného cementu značně kolísala a jeho název byl spíše komerčním trikem, neboť vycházel z názvu zejména v Londýně oblíbeného tvrdého šedého portlandského vápence.

Období hledání správného složení a technologie výroby hydraulického pojiva trvá dál. Teprve v roce 1844 přichází I. Ch. Johnson s poznatkem o nutnosti pálení suroviny až na mez slinutí. V tomto okamžiku tedy nastává situace, kdy je výroba cementu správně technologicky popsána a tehdejší výsledný produkt se kvalitou podobá cementům dnešním. Přichází doba, kdy je potřeba vyloučit nekvalitní výrobky a posílit tak důvěru odborné veřejnosti v nově se uplatňující produkt. 24. ledna 1877 je založen *Spolek německých výrobců cementu*. Tento spolek dává vzniknout prvním normám, které definují vlastnosti, kvalitu a druhy zkoušek portlandského cementu.

Současně s rozvojem výroby hydraulických pojiv se rozvíjí i uplatnění betonu. Tento materiál překvapuje svými možnostmi a umožňuje plnit do té doby těžko řešitelné úkoly. Uplatňuje se zejména ve vodním stavitelství, z důvodů vysokých cen kamenických prací ale nahrazuje i přírodní kámen při výrobě drobných architektonických doplňků a soch. Ojedinelé, spíše jako experiment, se realizují obytné vily a domy, hospodářská stavení, mosty.

Jedním z těch, kteří zasvětili život betonovým stavbám, byl bezesporu francouzský podnikatel François Coignet. Nejprve dělal pokusy s pečovaným betonem (pisé), který byl tehdy ve Francii oblíben. V roce 1855 vydal patent, kde shrnuje nejdůležitější zásady pro výrobu a použití betonu: důkladné hutnění čerstvého betonu, požadavek minimálního množství vody ve směsi, využití strojů pro drcení kameniva a míchání betonové směsi, vícenásobné použití bednění. Ve stejném roce podal patent *Béton Économique*, který ukázal, že do betonu mohou být použity i velmi levné komponenty. V Paříži postavil soukromý dům, jehož stropy jsou konstruovány z betonových desek vyztužených 12 cm vysokými I – nosníky. V knize *Béton agglomérés appliqués à l'art de construire* intuitivně formuluje statické důvody pro vyztužování betonu. Je vynálezcem tvarovaného betonu známého jako beton Coignet, se kterým měl velký úspěch. Příkladem stavby, kde je použit, je kostel Sainte-Marguerite v Le Vesinet. Technicky významná je také Coignetova stavba pařížského městského vodovodu na akvaduktu délky přes čtyři kilometry s výškou oblouků kolem 30 m.

6 **Louis Vicat** (1786–1861) byl francouzský inženýr, výzkumník v oblasti malt. Byl členem Francouzské akademie věd a jeho jméno je jedno ze 72 jmen zapsaných na Eiffelově věži.

7 Most přes řeku Dordogne, Francie

Rovněž v Anglii a v Americe se objevují pokusy s vyztuženým betonem. W. B. Wilkinson, člen britské Královské geografické společnosti, popisuje zlepšení ohnivzdornosti budov použitím betonu vyztuženého ocelovými dráty nebo lany. Američan W. Hyatt studuje spolupůsobení betonu s ocelí a vydává knihu *Pokusy s betonem a ocelí k posouzení hospodárného využití kovů s ohledem na jejich požární bezpečnost u střeš, stropů a schodišť*.

Ve výčtu vynálezců, kteří se zabývali užitím betonu vyztuženého kovem v podobě prutů, drátů či sítí, by neměl chybět J. L. Lambot. V roce 1855 patentuje Lambot užití betonu vyztuženého sítí v mokrých nebo vlhkých podmínkách a na Světové výstavě v Paříži vystavuje svou loď ze železobetonu vyztuženého sítí.

Klíčovou postavou ve vývoji a hlavně popularizaci železobetonu byl bezesporu Joseph Monier. Z roku 1863 pochází amatérská fotografie, která Moniera zachycuje vedle betonového květináče. Patent si Monier podává v roce 1867, v roce 1868 přihlašuje dodatkový patent na válcové roury a vodojemy, o rok později na rovné desky a v roce 1873 na mosty. Velký vliv měl Monier na pronikání železobetonu do Německa, Rakousko-Uherska, Ruska a Skandinávie.

Za dovršitele vývoje železobetonu považujeme dnes francouzského inženýra a stavitele François Hennebique, který jako první integroval sloup a výtuz do jednoho prvku a vytvořil důsledně monolitický systém, který mimořádně zvýšil tuhost a únosnost železobetonové konstrukce. Jeho patent dosáhl velkého uplatnění zejména při stavbě továrních objektů, kdy bez problémů přenášel rázy hnacích motorů upevněných na stropní konstrukci. Mezi lety 1892 a 1902 bylo pomocí systému Hennebique vybudováno více než 7 000 objektů – budov, vodních věží a mostů, uváděných někdy pod jménem jiných firem, i když jejich návrhy vypracoval Hennebique sám.

Kolem roku 1900 nastává významný předěl ve vnímání použitelnosti železobetonu, ať už ze strany odborníků a podnikatelů, nebo veřejnosti. Nedůvěra a pochybnosti jsou nahrazeny prudkým rozvojem železobetonu v oblasti praktické a dále pokračují teoretická bádání, která vlastnosti železobetonu vylepšují.



Obr. 1 Joseph Monier (reprodukce z: <https://alchetron.com/Joseph-Monier>)

Vývoj betonového stavitelství v našich zemích

Koncem 19. století byla v našich zemích prakticky završena technická revoluce, praktický dopad na rozvoj stavebnictví a používání nových materiálů to ale nemělo. V Českých zemích byl dostatek kamene, dřeva i cihlářských hlín, stavitelství využívalo tedy spíše těchto historickou zkušeností prověřených materiálů. Dále je potřeba zmínit, že česká vápna byla slabě i silně hydraulická, což samo o sobě brzdilo potřebu zabývat se otázkou výroby cementu. V tomto ohledu se zvláště proslavilo pražské staroměstské vápno z bránických lomů, které se v 18. století vyváželo pod názvem *pasta di Praga* do Benátek, Brém nebo Hamburku jako jedinečný materiál pro vodní stavby. Dynamickému rozvoji betonového stavitelství byla rovněž na překážku těžkopádná rakousko-uherská byrokracie, malá dostupnost zahraniční odborné literatury a výsadní postavení našeho železářství a strojírenství.

Beton se tedy začíná prosazovat až zhruba v 70. letech 19. století při budování vodních staveb, zejména při jejich zakládání.

Významnějším stavitelem zabývajícím se konstrukcemi z betonu se jeví dnes již téměř zapomenutý architekt Otto Ehlen, který realizoval několik soukromých vil, varieté, mlýny v Praze na Vltavě a zejména velkoryse a moderně pojatý dělnický dům v Poděbradech ze škvárobetonu. „*Síly stěn byly zhruba dány stavebními předpisy: obvodové zdi v suterénu 63 cm, příčky 32 cm, v přízemí obvodové zdi 47 cm, příčky 15–20 cm. Tyto předpisy neumožňovaly, při použití betonu, finančních úhod oproti cihlovým konstrukcím, vyostává nutnost změny stavebních předpisů.*“⁸

Oživení a rozvoj betonového stavitelství nastává u nás ke konci 19. století. Mění se legislativa, poznatky o hydraulických pojivech a betonu se přednášejí na odborných školách. Zakládání na betonu je již samozřejmostí, roste i použití betonu k sanaci základů starších staveb. Snaha o nahrazení dřevěných příček stejně tenkým nehořlavým materiálem vede ke konstrukci příček vyztužených Rabitzovým⁹ pletivem. Tloušťka příček se pohybovala okolo 4 až 5 cm. Architektonické tendence a požadavky na požární bezpečnost vedly k rozvoji používání betonových a železobetonových stropů. Stropy byly odlehčovány plochými výplněmi a cihelnými tvarovkami, a byly různě vyztužované ocelovými prvky.

S rozvojem průmyslu dochází k prudkému nárůstu výstavby továrních budov. Ty se stávají vizitkou majitele, jsou řešeny velkoryse, rovněž požadavky na únosnost pro statické a dynamické namáhání vyžadují použití nejnovějších stavebních postupů a reprezentativních účelných principů. Továrny se tak stávají předobrazem budoucího stavebního vývoje.

Budují se vodovody a kanalizace, regulují se toky, sesplavňují se řeky, budují se přehradní nádrže. Žádná tato stavební díla se už neobejdou bez betonu a železobetonu.

8 SEIDLEROVÁ, Irena a Jiří DOHNÁLEK. *Dějiny betonového stavitelství*. Praha: ČKAIT, 1999. Betonové stavitelství.

9 Podle berlínského stavebního mistra Carla Rabitze, patentováno v roce 1878. Příčka se skládá z nosné kovové konstrukce, drátěné mřížky Rabitz a omítky.

Betonové mosty

„*Stavba betonových a železobetonových mostů završila v posledních desetiletích 19. století vývoj betonového stavitelství. Tyto mosty se ukázaly nejen ekonomicky výhodné, ale prokázaly i technické a estetické parametry, které žádný jiný materiál nemohl poskytnout. Současně betonové mosty manifestovaly přednosti svého materiálu před nejširší veřejností, neboť zatímco i nejpozoruhodnější stropní klenba byla oceněna především úzkým kruhem odborníků, stavby mostů o větším rozpětí probíhaly vždy za velké pozornosti obyvatelstva.*“¹⁰

První železobetonový most na světě postavil J. Monier v roce 1875 v Chazelet. Byl 16,5 m dlouhý a 4 m široký.

V našich zemích jmenujme mostní železobetonové konstrukce Josefa Melana,¹¹ který podle svého patentu z roku 1892 používal místo betonářské výztuže tuhé příhradové ocelové nosníky. Teoretickou základnu svého systému vybudoval v tehdejších areálu stavebního podniku Pittel & Brausewetter v Bratislavě a zejména v Brně. Nejznámější je Melanův most z roku 1898 v rakouském městě Steyr. Svého času to byl největší železobetonový most na světě.

20. století

Použití železobetonu roste především pro jeho výhody: pevnost, pružnost, tuhost a celistvost konstrukce, malé průřezové rozměry, ohnivzdornost, všestrannost, rychlost výstavby, dostupnost a ekonomičnost materiálů. Současně však jsou již známy i jeho nevýhody: špatné tepelně technické vlastnosti, špatná hluková izolace vlivem dobré vodivosti zvuku, špatná odolnost vůči elektrickým proudům a agresivnímu prostředí, vysoké nároky na výrobu a provedení.

Postupně se ustaluje i kvalita zpracování betonu, například roku 1907 je ministerstvem vnitra schválen *Předpis o staobě nosných konstrukcí z betonu prostého nebo vyztuženého při staobách pozemních*,¹² dále je sestaveno rakouským spolkem inženýrů a architektů i *Ustanovení o jednotném dodávání a zkoušení portlandského cementu*.¹³

V Předpise jsou již uceleny požadavky na vlastnosti dílčích složek betonu, zkoušky betonu a oceli, ale i podklady pro statický návrh konstrukcí ze železobetonu. Je zde také kladen důraz na technologii provádění železobetonových konstrukcí, například na hutnění, zajištění polohy výztuže, ošetřování betonu, odbednění nosných částí až po 4 týdnech.

10 DOHNÁLEK, Jiří a Irena SEIDLEROVÁ. *Dějiny betonového stavitelství v českých zemích do konce 19. století*. Praha: Historický ústav ČSAV, 1991. s. 303.

11 **Josef Melan** (1853–1941) byl rakouský inženýr, který je považován za jednoho z nejvýznamnějších průkopníků železobetonových mostů na konci 19. století. Je autorem způsobu výstavby železobetonových mostů známého pod názvem *Patent – Melan*. Působil i jako vysokoškolský profesor ve Vídni, Brně a Praze. Melanovy mosty zahájily svůj nástup právě v našich zemích. Dále je najdeme ve Slovinsku, Švýcarsku, Itálii, Německu, Španělsku, v USA i Japonsku.

12 KLOKNER, František a Jaroslav FIDLER. *Vyztužený beton. Jeho upotřebení a výpočty hlavně k účelům pozemního stavitelství*. Praha: Nakladatelství F. Šimáčka, 1909. s. 214.

13 *Ibidem*, s. 223.

Uvádí se rovněž poměr mísení cementu, písku a šterku, i množství vody, které se při jeho výrobě spotřebuje. „*Malta obsažená v betonu musí být smíšena v poměru alespoň 1:3 (1 objemový díl cementu a 3 objemové díly písku), a dále, že beton vyztužený železem musí obsahovati tolik cementu, aby na 1 m³ směsi písku a šterku připadalo nejméně 280 kg cementu [...], což odpovídá poměru smíšení podle objemu asi 1:5 [...].*“¹⁴

Hmotnost cementu na 1m ³ směsi písku a šterku [kg]	Poměr mísení podle objemu	Pevnost [kg/cm ²]	Dovolená namáhání ŽB v prostém tahu [kg/cm ²]	Dovolená namáhání ŽB v tahu za ohybu [kg/cm ²]
470	1:3	170	28	40
350	1:4	150	25	36
280	1:5	130	22	32

Tab. 1 Přehled dosažovaných pevností a z nich vyplývajících dovolených namáhání¹⁵

Ustanovení o jednotném dodávání a zkoušení portlandského cementu konkretizuje pojem portlandský cement jako: „...výrobek, který se získá z přirozených vápenitých slínů nebo umělých směsí látek hlinitých a vápenitých, a to jejich vypálením až na škváru (slínek) a pak jejich rozmělněním až na moučku, a který na jeden váhový díl hydraulických součástí obsahuje nejméně 1,7 váhových dílů vápna.“ Ustanovení dále definuje: balení a váhu, dobu tuhnutí, objemovou stálost, jemnost mletí, vaznost, pevnosti v tahu a tlaku.¹⁶

Je již dobře znám princip vyztužování jednotlivých prvků. Například pro vyztužení desky platí: umístování výztuže co nejbližší ke spodnímu okraji, je předepsáno krytí nejméně 1 cm, použití nosné a rozdělovací výztuže. *Tloušťky i vzdálenosti nosných drátů jsou dány rozpětím a zatížením (průměry 8, 10, 12 mm a více, vzdálenost 10–20 cm; příčné – rozdělovací 5–8 mm po 10–40 cm).*¹⁷

Předpisy z počátku 20. století stanovují poměrně malé hodnoty krytí výztuže a není tomu jinak ani v první československé normě: *Mezery mezi železy necht' činí nejméně 2 cm a rovnají se vždy alespoň průměru želez. Nejmenší vzdálenost poorchu želez od nejbližšího betonového poorchu musí činit nejméně u desek 1 cm, u trámů 2 cm, u sloupů 3 cm.*¹⁸

Rozvíjí se řada systémů a způsobů vyztužování. Ransomeův systém byl založen na šroubovitě zakroucené nosné výztuži bez rozdělovací výztuže, Koenův systém spočíval v systému traverz propojených kulatými nebo plochými výztužemi přehnutými přes příruby, systém Hennebique se skládal z nosných prutů a páskových třmínků, zajímavý byl i systém

¹⁴ KLOKNER, František a Jaroslav FIDLER. *Vyztužený beton. Jeho upotřebení a výpočty hlavně k účelům pozemního stavitelství*. Praha: Nakladatelství F. Šimáčka, 1909. s. 115.

¹⁵ Ibidem, s. 221.

¹⁶ Ibidem, s. 223–224.

¹⁷ Ibidem, s. 25.

¹⁸ BREBERA, Antonín. Navrhování betonových staveb podle československé normy ČSN 1090-1931. In: *Zoláštní otisk z přílohy „BETON“ časopisu „Zprávy veřejné služby technické“*. Praha: vlastním nákladem, 1932. s. 28.

Matrai, který využíval vyztužení lany napjatými úhlopříčně, čímž vznikla deska zavěšená po celém obvodu. Naproti tomu se rozvíjela i výroba prefabrikovaných stropních prvků, jako byly Visintiniho příhradové trámy, Siegartovy duté trámy nebo Thruľovy trámy klenbového typu.

Na trhu působí řada kvalitních dodavatelů surovin a materiálů. Za všechny jmenujme například Továrnu na portlandský cement v Brně Maloměřicích, která se ve svém reklamním materiálu¹⁹ chlubí výhradní dodávkou *portlandského cementu značky „Maloměřice“ a speciálního cementu značky „Super“* např. na stavbu Vranovské přehrady nebo na řadu významných staveb ve městě Brně (Dům služby Baťa v Brně, Palác Morava, Městské lázně v Brně Zábřovicích, budovy První brněnské strojírny, akc. spol. v Brně, pavilon města Brna a Obchodně živnostenský pavilon na brněnském výstavišti, most v Brně Maloměřicích, Tovární budovy firmy Sdružené továrny vlněného zboží akc. spol., hlavní skladiště firmy Pavel Neumark, Brněnské krematorium, vila Tugendhat, palác Alfa a další). Jako důkaz kvality svého výrobku dokládá *Zprávu o výsledku zkoušek cementu dle českoslov. norem z r. 1925, které provedlo Vysoké učené technické v Praze, Ústav pro sklářství, keramiku, technologii a zkoušení staviv (Prof. Dr. Josef Burian).*

Železobeton dobývá svět. S ocelí, sklem, někdy doplněn cihlami nebo kamenem a dřevem, umožňuje vytvářet dosud nevídaná architektonická díla. Skončila první světová válka, nastupuje moderna a železobeton se stává moderním materiálem. Ke slovu přicházejí architekti a hnutí ovlivňující celosvětové stavební umění: noblesní Frank Lloyd Wright, škola Bauhaus, holandský de Stijl, ruský konstruktivismus i neopomenutelný le Corbusier. V našich zemích se staví v duchu funkcionalismu, vzniká zcela jedinečná baťovská architektura ve Zlíně, jehož hranice brzy překročí, a řada dalších nadčasových staveb – z tuzemských vynikajících architektů lze jmenovat alespoň J. Fragnera, B. Fuchse, J. Gočára, P. Janáka, V. Karfíka, J. Kotěru, L. Machoně, J. Polívku či R. Welse.



Obr. 2 Fallingwater house, Pensylvánie, Frank Lloyd Wright, 1935 (foto Daderot, Wikimedia)



Obr. 3 Obchodně průmyslový palác (pavilon A) na brněnském výstavišti, Josef Kalous, Jaroslav Valenta, 1927–1928. (foto NPÚ, Miroslav Zavadil)

19 Továrna na portl. cement, Leo Czech a spol., vydáno v roce 1932 k 25. letému výročí existence.

Hlinitanový cement

V těchto souvislostech není možno nezmínit hlinitanový cement. Platná ČSN 73 0038 Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí upozorňuje na konstrukce, pro které byl použit hlinitanový cement a z toho důvodu pro ně neplatí charakteristiky betonu obvyklé pro portlandský cement. Hlinitanový cement je hydraulické pojivo, které má vyšší podíl oxidu hlinitého (základní surovinou pro jeho výrobu je bauxit a vápenc).

Z historie jeho výroby:

- objeven byl ve Francii roku 1865, výroba spočívala v roztavení, zchlazení a mletí směsi vápna a oxidu hlinitého, v Anglii byl později přihlášen patent na vápencovo–bauxitový cement;²⁰
- v letech 1908–1910 přešla cementárna Lafarge na výrobu cementu v rotačních pecích,²¹ hlinitanový cement byl veden pod označením *Ciment fondu* (cement tavený);²²
- v roce 1910 byla patentovaná první elektrická pec na tavení bauxitového cementu – *Ciment elektrofondu*, *Ciment électrique*;
- v roce 1923 byl patentován další způsob výroby založený na prostém slinutí, uveden na trh jako slinutý bauxitový cement pod názvem *Citadur*;
- v našich zemích se vyráběl v období let 1930–60. První továrna se nacházela v Lietavské Lúčce v roce 1930 – Továrna na bauxitový cement Ladce, akc. spol. Továrna prodávala cement pod značkou *Bauximent*.

Zpočátku se jevil beton vyráběný z hlinitanového cementu jako materiál se zcela mimořádnými vlastnostmi:²³

- jednodenní pevnosti jsou vyšší než osmadvacetidenní pevnosti portlandského cementu;
- vyvíjí značné množství hydratačního tepla, je tedy vhodný pro betonáž v zimě;
- je odolný proti působení síranů;
- je odolný proti působení vysokých teplot.

20 ROVNANÍKOVÁ, Pavla, Patrik BAYER a Lubomír VÍTEK. Hlinitanový cement jako pojivo konstrukčního betonu – stav betonu z konstrukce mostu po padesáti letech. In: *BETON – technologie, konstrukce, sanace* [online]. 2007, 2007(3), 1-2 [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: http://www.betontks.cz/sites/default/files/2007-3-48_0.pdf.

21 Historie | Lafarge, building better cities. Lafarge, building better cities [online]. Čížkovice: Lafarge, c2019 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: https://www.lafarge.cz/1_1_1-Historie

22 GOSS, Andrew. *Concrete Handbook for Artists*. 2. vydání. Owen Sound: Goss Design Studio, 2006.

23 Viz pozn. 20.

Poměr mísení		Pevnost v kg/cm ² po dnech	Druh betonu		
a) kg bauxitového cementu v 1 m ³ betonu	b) šterku k písku (dle objemu)		Zavlhlý	Měkký (plastický)	Tekutý
200	2:1	1	323	320	188
		2	396	436	237
		7	437	473	311
		28	486	530	350
250	2:1	1	433	444	259
		2	481	539	320
		7	532	592	422
		28	565	632	448
300	2:1	1	473	538	360
		2	561	641	450
		7	575	679	522
		28	603	792	522

Tab. 2 Z návodu Továrny na bauxitový cement Ladce²⁴

Zprávy veřejné služby technické podávají v článku Ing. Dr. Kallaunera, přednosty státního výzkumného ústavu silikátového a profesora české techniky v Brně v článku *O bauxitových cementech se zvláštním zřetěním k slinutému bauxitovému cementu „Citadur“* informaci o historii výroby hlinitanového cementu a o jeho technických parametrech a mimo jiné uvádějí:

„Bauxitový slinutý cement, ač byl zaveden teprve nedávno u nás na trh, doznal již značného upotřebení v naší praxi betonářské. Tak ho bylo použito kromě při zmíněné stavbě obchod. domu firmy T. & A. Baťa, prováděnou fou. Zlín, akc. společnost, na piloty stavby finanční budovy v Bratislavě, firmou Českomoravská stavební společnost v Praze, při stavbě druhé koleje Brno – Břeclav, firmou Bratři Redlichové v Brně, při stavbě Báňské a hutní společnosti v Třinci, prováděné za značného mrazu firmou V. Nekvasil, filiálkou v Mor. Ostravě, na stavbu betonových reservoirů pro společnost „Šaratica“ k přechovávání hořké vody, firmou Zeisel a Pokora v Brně, při stavbě lázeňského basínu „Sina“ v Trenčianských Teplicích (k utěsnění vedlejších pramenů a k betonování vlastního basínu na sirmou vodu) firmou Středoslovenská stav. spol. Bratislava, při provádění železobeto-

24 Továrna na bauxitový cement Ladce, akc. spol. – Návod ku zpracování bauxitového cementu „Bauximent“: „Na základě výsledků četných zkoušek v laboratoři byla sestavena následující tabulka, která poskytuje přibližný obraz dosažitelných pevností betonu na tlak.“

*ových stropů za mrazu v Bratislavě firmou Ing. R. Frič v Bratislavě, k výrobě cementového zboží při dodávkách krátkodobých firmou Fischmann a spol. v Brně atd.*²⁵

Počátkem 50. let minulého století se však začínají v konstrukcích vyrobených z betonu s použitím hlinitanového cementu objevovat nečekané problémy. Začínají probíhat výzkumy, které prokazují, že zejména v závislosti na hutnosti betonu a vlhkosti okolního prostředí může u betonů s použitím hlinitanových cementů docházet k výrazné přeměně (konverzi) termodynamicky nestálých hydratovaných slídkových materiálů na stabilní, a tím ke snížení jejich pevnosti až na třetinu.

23. listopadu 1984 dochází v Uherském Hradišti v národním podniku MESIT během dopolední směny k tragické havárii. Příčinou havárie bylo zřícení střechy nad výrobní halou, zahynulo 18 lidí. Následné zkoušky prokázaly přítomnost hlinitanového cementu a v důsledku toho snížení pevnosti betonu na 5–7 MPa, tedy na hodnotu šestinásobně nižší než průvodní. Na to okamžitě reaguje Technický a zkušební ústav stavební Praha a ještě v témže roce vydává metodiku, která zavazuje všechny vlastníky objektů, které byly realizovány mezi lety 1930 a 1960 a u nichž nebylo možné existujícími písemnými podklady prokázat, že při jejich stavbě nebyl použit hlinitanový cement, k provedení doplňujícího stavebně technického průzkumu. Bylo předepsáno provedení povrchových sond a posouzení odstínu konstrukce. Pro betony vyrobené z hlinitanového cementu je totiž příznačný okrový odstín, který je ve srovnání s šedou barvou betonů vyrobených ze standardních portlandských nebo směsných cementů atypický. Pro jednoznačné určení přítomnosti hlinitanového cementu bylo doporučeno provést chemický rozbor, popřípadě rentgenovou difrakční analýzu.

Nedlouho na to, 30. 8. 1985, vydává *Státní komise pro vědeckotechnický a investiční rozvoj Praha* sdělení, které uvádí, že je nutno považovat statickou způsobilost konstrukce z hlinitanového betonu za zpochybněnou.

V roce 1990 při náhodných udržovacích pracích na objektu Porodnického ústavu MÚNZ Brno, Veveří 125 (původně Šilhanovo sanatorium, funkcionalistická stavba z roku 1933 postavená podle projektu Jana Víška) byla objevena přítomnost betonu s použitím hlinitanového cementu. Následně byla o průzkum stavby požádána fakulta stavební, katedra stavebnin a zkušebních metod VUT v Brně. Ze závěrečné zprávy citujeme:

„Provedený průzkum [...] nezvratně dokazuje, že na nosné konstrukce byl použit beton z hlinitanového cementu. [...] Jde o stropy nad II. patrem, III. patrem a půdním patrem [...], učetně části betonových zdí u hlavního schodiště z II. do III. patra a atíky u půdního patra [...] Prošetřováním kvality betonu z hlinitanového cementu se prokázalo, že beton je již ve značném stádiu rozpadu a degradace. Svědčí o tom jak objektivní výsledky laboratorních rozborů, tak subjektivní a zkušenostní hodnocení z chování betonu při odebrání vzorků a pořizování úvrtů. To, že se jádrové úvrtvy samy rozsypaly a nedaly se tudíž využít pro tlakové zkoušky, už samo naznačuje kritický pokles pevnosti. Jestliže nejméně nosný druh betonu podle tehdejších předpisů [...] by měl mít normovou charakteristickou pevnost minimálně 11 MPa, [...] tak lze zde prohlásit, že žádná část betonů tuto pevnost

²⁵ ZPRÁVY VEŘEJNÉ SLUŽBY TECHNICKÉ. Úřední věstník, vydávaný ministerstvem veřejných prací za součinnosti ministerstva železnic a technických odborů ministerstev Československé republiky. Číslo 22, v Praze dne 15. listopadu 1931. Ročník XIII.

nemá; odborným odhadem se pohybuje kolem poloviny této hodnoty. [...] současný stav konstrukcí je ‚nebezpečný až velmi nebezpečný‘. Dále je nutno upozornit, že rozklad hlinitanových betonů není ukončen, že zjištěná degradace může pokračovat dále.²⁶

Po vydání zprávy byl objekt okamžitě evakuován. Později proběhla rekonstrukce a dnes objekt slouží k jiným účelům.

Podobná situace byla zjištěna u obchodního domu Baťa v Mariánských Lázních od architekta Vladimíra Karfíka z roku 1932. Obchodní dům s pětipodlažním železobetonovým skeletem byl zapsán na seznamu nemovitých kulturních památek. Nikdy nebyl přistavován ani nijak rekonstruován, jeho historická hodnota byla tedy nesporná. V roce 2014 byly na základě poruch železobetonového sloupu v kotelně zahájeny první prohlídky a následně byl proveden podrobný stavebně technický průzkum včetně nutných zkoušek a laboratorních rozborů. Ten prokázal použití betonu s hlinitanovým cementem a výrazný pokles jeho pevnosti. Vzhledem k technickému stavu nosné konstrukce a prakticky neproveditelné sanaci bylo rozhodnuto o demolici objektu. Demolice proběhla koncem roku 2015.

Dnes je použití hlinitanových cementů u nás velmi omezené, některými odborníky i kritizované, a je upraveno normou ČSN EN 14647 (722103) Hlinitanový cement – Složení, specifikace a kritéria shody. Její obsáhlá informativní příloha A obsahuje pokyny pro používání hlinitanového cementu v betonu a maltě.

Vady a poruchy betonových konstrukcí

Stavební konstrukce mají plánovanou životnost zhruba 30–100 let.

Návrhové kategorie životnosti	Předpokládaná životnost (roky)	Příklady
1	10	provizorní stavby
2	10 až 25	vyměnitelné části konstrukce
3	15 až 30	zemědělské a podobné stavby
4	50	obytné a občanské budovy
5	100	monumentální stavby, mosty a jiné inženýrské stavby

Tab. 3 Plánovaná životnost staveb podle prEN 1990²⁷

Spolehlivost stavby postupně klesá. Důležitým faktorem, který ovlivňuje spolehlivost konstrukce, je prostředí, které stavbu obklopuje, výchozí stav konstrukce, údržba konstruk-

²⁶ Závěrečná zpráva o výsledcích dokončeného průzkumu rozsahu a stavu hlinitanových betonů v nosné konstrukci objektu MÚNZ, Brno, Veveří 125. VUT v Brně, Fakulta stavební, katedra stavebnin a zkušebních metod, odpovědný řešitel Ing. Josef Rosa, CSc., vedoucí katedry doc. Ing. Vojtěch Mencl, CSc. Brno, srpen 1990.

²⁷ prEN 1990 Basis of structural design. Final draft (2001). Uvedeno v: BILČÍK, Juraj, DOHNÁLEK, Jiří. *Sanace betonových konstrukcí*. Jaga group vydavatelstvo. Bratislava. 2003.

ce a zacházení s konstrukcí. Spolehlivost konstrukce se zcela přirozeně zmenšuje v čase, na konstrukci se začínají projevovat vady, případně poruchy.

Vada se projeví na konstrukci jako nepříznivý jev, který ale nesnižuje míru její spolehlivosti (bezpečnost, použitelnost nebo trvanlivost).

Vady vznikají:

- v projektové fázi vlivem:
 - chybně stanovené koncepce;
 - chybně zvoleného konstrukčního řešení;
 - chybně navržených detailů;
 - nízké odborné erudici zpracovatele projektu a jeho špatné informovanosti o skutečných možnostech a vlastnostech použitých materiálů.

- při výstavbě, např.:
 - špatnou recepturou betonové směsi;
 - špatným ukládáním a hutněním čerstvého betonu;
 - špatnou polohou výztuže v bedněni;
 - nedodržení tloušťky krycí vrstvy.

- při používání stavby, např.:
 - mimořádným nebo nevhodným zatížením konstrukce;
 - agresivitou okolního prostředí;
 - nedostatečnou, případně žádnou nebo nevhodnou údržbou.

Porucha je částečná nebo úplná ztráta schopnosti prvku nebo konstrukce plnit požadované funkce. Ztráta funkčnosti je spojená s dosažením některého z mezních stavů. Většina poruch má svůj původ ve vzájemném působení několika vad.

Poruchy dělíme podle různých hledisek. U nosných stavebních konstrukcí je nejdůležitější statické hledisko. Poruchy podle tohoto hlediska tedy můžeme rozdělit na:²⁸

- poruchy staticky nevýznamné, neohrožující únosnost stavby. Oprava bývá většinou jednoduchá a nenáročná;
- poruchy ze statického a funkčního hlediska významné. Omezují únosnost, použitelnost nebo trvanlivost stavby. Musí být vhodně volenými metodami včas odstraněny;

- poruchy staticky velmi závažné, havarijní. Ohrožují únosnost a stabilitu nosné konstrukce. Z důvodu bezpečnosti stavby je potřebný okamžitý zásah.

Mezi poruchy řadíme vznik a vývoj trhlin, nárůst průhybů a ztrátu tuhosti způsobenou dotvarováním popřípadě smršťováním.²⁹ Mezi vnitřní činitele lze zahrnout také např. přítomnost sulfidické síry v písku. Jejich příčiny a následky jsou názorně uvedeny v tabulce 4.



Tab. 4 Schéma rozdělení činitelů nepříznivě ovlivňujících životnost betonových konstrukcí a následky jejich působení³⁰

Pro zjištění rozsahu a závažnosti poruch je obvykle potřeba provést stavebně technický průzkum včetně všech potřebných zkoušek a laboratorních rozborů, neboť ve většině případů není možno nalézt dostatek informací pro posouzení životaschopnosti konstrukce z projektové dokumentace či ze záznamů o průběhu stavby a jejím následném užívání a údržbě.

²⁹ VLČEK, Milan, Ivan MOUDRÝ, Miloslav NOVOTNÝ, Petr BENEŠ a Věra MACEKOVÁ. *Poruchy a rekonstrukce staveb*. ERA group spol. s r.o. Brno. 2006.

³⁰ Viz pozn. 28, s. 32.

Průzkumy a zkoušky betonových konstrukcí

Průzkumy

Hodnocení existujících konstrukcí podle ČSN ISO 13822

K hodnocení existujících konstrukcí může vést několik důvodů, např.:

- očekávaná změna v používání nebo prodloužení návrhové životnosti;
- ověření spolehlivosti požadované úřady nebo vlastníky;
- poškození konstrukce od mimořádných zatížení;
- degradace konstrukce vlivem časově závislých zatížení nebo vlivů.

Při ověřování spolehlivosti existujících konstrukcí a pro navrhování jejich obnov se postupuje podle zásad ČSN EN 1990 a dalších platných norem. Jelikož některé zásady a údaje zejména pro staré konstrukce v těchto normách chybí, využívá se pro jejich hodnocení norem ČSN ISO 13822 (Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí) a ČSN 73 0038 (Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – Doplnující ustanovení). Je bezesporu pozitivní, že v revidovaném vydání těchto norem jsou nově přidány i přílohy týkající se přímo hodnocení konstrukcí objektů kulturních památek.

Pro postup hodnocení konstrukce je klíčové stanovit účel hodnocení z hlediska požadavků na její budoucí funkční způsobilost, která vychází z následujících funkčních úrovní:

- úroveň bezpečnosti, která poskytuje uživatelům konstrukce odpovídající bezpečnost;
- úroveň trvale udržitelných funkčních vlastností, která poskytuje nepřetržitou funkčnost pro speciální konstrukce,
- požadavky objednatelů na speciální funkční vlastnosti, které se týkají ochrany vlastnictví (ekonomických ztrát) nebo použitelnosti.

Hodnocení na základě dřívější uspokojivé způsobilosti

Podle normy ČSN ISO 13822 lze existující konstrukci, navrženou a provedenou podle dřívějších platných norem, anebo na základě osvědčených stavebních postupů, hodnotit „mírněji“ než konstrukci novou, pokud jsou splněny následující podmínky z hlediska bezpečnosti:

- Pečlivá prohlídka neodhalí žádné známky významného poškození, přetížení či degradace;

- Přezkoumá se konstrukční systém, prohlédnou kritické detaily a prověří se z hlediska přenosu napětí;
- Konstrukce vykazuje uspokojivou způsobilost v průběhu dostatečně dlouhého období, ve kterém došlo v důsledku užívání a účinků prostředí k výskytu extrémně nepříznivých zatížení;
- Predikovaná degradace s uvážením současného stavu a plánované údržby nemá vliv na trvanlivost;
- Pro další plánovanou životnost konstrukce nenastanou změny, které by mohly významně zvýšit zatížení působící na konstrukci nebo ovlivnit její trvanlivost, a žádné takové změny nejsou očekávány.

Podobně se konstrukce zhodnotí i z hlediska provozuschopnosti. Na základě zkušeností však lze alespoň minimální ověření vlastností železobetonové konstrukce doporučit v každém případě, i když jsou všechny podmínky splněny. Stavební objekty z počátků betonového stavitelství či meziválečného období byly často postaveny ryze účelově, úsporně, s omezenou životností. Betony vyráběné určitou technologií před I. světovou válkou v řadě případů nevyhovují dnešním byť minimálním požadavkům na beton pro nosné konstrukce, situace u betonů meziválečných je jen o málo lepší. Vždyť ještě ve 30. letech 20. století byly nosné železobetonové konstrukce jako desky a průvlaky běžně vyráběny z betonu tříd d, e (ČSN 1090-1931), které odpovídají dnešnímu značení C 8/10, C 10/13,5. U betonu nižších pevnostních tříd navíc časem dochází k degradaci a pevnost postupně ještě klesá, takže u starých konstrukcí nejsou žádnou výjimkou pevnostní třídy C6/7,5, C4/5 a dokonce C3/3,5, pro něž v současné době není ekvivalent v normě ČSN EN 206. Pro srovnání – minimální pevnostní třída betonu pro započítání ocelové výztuže je v současnosti C 12/15 (bez přihlídnutí k agresivitě prostředí, kdy jsou požadavky ještě zpřísněny).

V průběhu doby se rovněž změnila (rovněž zpřísnily) požadavky na kvalitu a trvanlivost materiálů nosných konstrukcí jak z hlediska odolnosti proti vlivům prostředí, tak i např. z hlediska požární bezpečnosti. Navíc výše uvedených pět podmínek pro mírnější hodnocení nebývá obvykle splněno, neboť objekty často vykazují závažné poruchy či projevy degradace, takže je nezbytné ověřit jejich spolehlivost nejen na základě prohlídky, ale i na základě zkoušek a statického výpočtu. Starším konstrukcím bohužel nepomáhají nové normy, které jsou vůči nim přísné (možná až příliš, neboť nedokážou zohlednit odlišné vlastnosti dřívě používaných materiálů), takže značná část konstrukcí nevyhoví statickému výpočtu.

Dále je nutné si uvědomit, že nehodnotíme pouze aktuální stav nosné konstrukce, ale rovněž musíme zohlednit její budoucí využití – u nových staveb se plánuje životnost na 80 let, u mostů dokonce na 100 let! Přitom starší železobetonové konstrukce jsou často na hranici životnosti. Odpovědný majitel či posuzovatel se musí ptát, jaká opatření mu zaručí, že po dobu budoucího využívání nedojde k jejich kolapsu. Pokud beton v konstrukci nedosáhne alespoň výše uvedené pevnostní třídy C 12/15, pak nelze pro statické posouzení

použít Eurokód 2³¹ a konstrukce se musí zesílit či nahradit, což se samozřejmě neobejde bez značného zásahu do jejího vzhledu.

Specifika hodnocení stavu památek ze železobetonu

Z důvodu jistého nesouladu mezi vlastnostmi starších a nových železobetonových konstrukcí byla do normy ČSN ISO 13822 v roce 2014 přidána zvláštní kapitola týkající se železobetonových konstrukcí památek: Příloha I – Konstrukce objektů kulturních památek.

Hlavním rozdílem proti běžným konstrukcím ze železobetonu je, že kromě hlediska funkční způsobilosti se zkoumá i památková hodnota. Hodnota památky spočívá v autenticitě a integritě, je důležité pokud možno zachovávat původní materiály a původní konstrukční uspořádání. Přespříliš pečlivý přístup k hodnocení konstrukcí může vést ke zbytečným konstrukčním opatřením, změně charakteru památky, ztrátě autenticity a zbytečným nákladům. Obecný rámec hodnocení sestává z několika kroků, které lze stručně jmenovat jako:

- stanovení účelu hodnocení;
- scénáře (soubor možných kritických situací);
- předběžné hodnocení;
- podrobné hodnocení;
- výsledky hodnocení.

Stěžejní roli hraje vždy ÚČEL hodnocení, který se stanovuje z hlediska požadavků na budoucí funkční způsobilost. Účelem může být obecné posouzení stavu konstrukce na základě požadavků vlastníka či úřadu, dále to může být změna způsobu užívání konstrukce, změna zatížení, pochybnosti o únosnosti či funkční způsobilosti, modernizace a přestavba objektu, ovlivnění sousední stavební činností včetně poddolování (sousední zástavba, budování kolektorů nebo tunelů), apod.

Scénáře jsou souborem očekávaných či možných kritických situací, které mohou nastat při daném zásahu – např. při změně způsobu užívání objektu může dojít k přetížení stropních konstrukcí, následně i svislých konstrukcí (sloupů) a základů, při stavbě tunelu zase může dojít k nerovnoměrnému poklesu základů a následně redistribuci napětí a vzniku trhlin.

Vlastní postup hodnocení má rovněž určitá pravidla. Velmi důležitá je prvotní prohlídka. Jedná se o prakticky nedestruktivní šetření na místě prováděné zkušenými odborníky, které má za cíl zjistit stav objektu, identifikovat nosný systém, ověřit kritická místa nosné konstrukce a stanovit další postup z hlediska návrhu průzkumu konstrukce, včetně stanovení druhů a rozsahu zkušebních metod. Rozkrytí konstrukce či odběr vzorků je vždy na

31 Evropská norma pro navrhování betonových konstrukcí: ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí, část 1-1

důkladném zvážení – přednost by měly mít nedestruktivní zkoušky, destruktivní zkoušky by měly následovat z důvodu upřesnění výsledků a pokud možno v menším rozsahu. V extrémním případě, kdy je bezprostředně ohrožena bezpečnost a stabilita konstrukce, může být výsledkem prohlídky návrh okamžitých opatření ve smyslu zabezpečení objektu nebo jeho části proti vstupu, provizorní podepření a statické zajištění konstrukce.

Rozsah podrobného hodnocení by měl být stanoven z předběžného hodnocení. V podrobném hodnocení je proveden popis historie památky, všech jejích úprav a poškození, historie používání. Je provedena podrobná vizuální a hmatová prohlídka, u nepřístupných prvků hodnocení reprezentativních vzorků. Rozebrání prvků je přípustné, jen pokud je to povoleno orgánem státní památkové péče. Při analýze konstrukce je nutno uvažovat nejistoty vlivem neúplných dat, škod a deformací, omezených znalostí a stárnutí konstrukce.

Pokud je konstrukce poškozena, avšak bezprostřední nebezpečí nehrozí, je vhodným nástrojem pro upřesnění hodnocení tzv. monitorování konstrukce. Jedná se o systematické a často kontinuální sledování konstrukce obvykle spojené s měřením (poklesů, průhybů, náklonů, změny šířek trhlin, apod.), k němuž lze použít celou škálu měřicích metod, od jednoduchých (trhlinoměry, sádrové terče), až po složité (laserové kříže, přesnou nivelaci, příložné deformometry a náklonoměry). Pro hodnocení použijeme veškeré údaje z prohlídky, průzkumu a případně monitorování konstrukce. Součástí hodnocení jsou:

- zpráva o historii památky;
- záznam o kulturním dědictví (data z aplikace památkový katalog);
- postup prohlídky a výsledky;
- postup monitorování a výsledky;
- úvahy o aspektech památky;
- omezení při hodnocení;
- doporučení konstrukčních opatření a doporučení pro zachování charakteristických prvků konstrukce.

V rámci analýzy a ověření konstrukce:

- stanovení současného zatížení, ale také účinků zatížení působících v minulosti;
- únosnost prvků stanovujeme s přihlédnutím k jejich degradaci;
- uplatnění mezních stavů a specifických mezních stavů použitelnosti pro zachování hodnoty památek;
- uvážení zbytkové životnosti konstrukce, s přihlédnutím k ochraně památek pro jejich kulturní hodnotu;
- kontrola výstižnosti a zpřesnění modelů.

Navrhovaná opatření se mají udržovat na minimální úrovni, tzn. splnění požadavků konstrukce a minimalizování škody na hodnotě památky. Materiály použité pro opravy mají být slučitelné s původními materiály.

Zkoušky betonu

Stanovení pevnosti v tlaku

Metody určené pro zkoušení betonu v konstrukci jsou v podstatě obsaženy ve čtyřech částech normy ČSN EN 12504:

- část 1: Vývrtý – Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku;
- část 2: Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem;
- část 3: Stanovení síly na vytržení;
- část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu.

Z uvedených metod je beze sporu nejpřesnější metoda jádrových vývrtů, která ovšem představuje určitý destruktivní zásah do konstrukce. Minimální průměr jádrových vývrtů z betonu je 50 mm, z důvodu velikosti kameniva však převažují odběry vývrtů o průměru 100 mm. Zvláště u památkově chráněných objektů není takový zásah žádoucí, navíc pro objektivní zhodnocení stavu konstrukce by bylo zapotřebí odebrat značné množství vzorků. Proto je ideální nejprve beton konstrukce na velkém počtu zkušebních míst vyzkoušet nedestruktivně, a teprve po jejich vyhodnocení odebrat potřebné (minimální) množství vývrtů pro upřesnění nedestruktivních zkoušek. Daný postup odpovídá normě ČSN 73 2011, jež byla v roce 2012 harmonizována s evropskými předpisy a pro zkoušení památkově chráněných a starších konstrukcí se hodí lépe než evropská norma ČSN EN 13791 (určena spíše pro relativně nové betonové konstrukce). Jakou nedestruktivní metodu pro zkoušení betonu v konstrukci použít? Přímo na konstrukci můžeme aplikovat metodu tvrdoměrnou, ultrazvukovou, anebo metodu mikrovývrtů.

Tvrdoměrné metody patřily a stále ještě patří k nejpoužívanějším nedestruktivním metodám ve stavebnictví. Oblíbenost metody spočívá v poměrně jednoduchém postupu, podle něhož je možné na základě zjištěného ukazatele tvrdosti stanovit hodnotu krychelné pevnosti v tlaku betonu. Zkušební místa ovšem musíme zbavit zkarbonatované vrstvy betonu, která je obvykle výrazně tvrdší, a vybrousit je tak, aby byla jasně patrná struktura betonu. Broušení zkušební plochy je samo o sobě výrazným zásahem do vzhledu konstrukce. U masivní konstrukce může být beton podélně vrstevnatý, což znamená, že vlastnosti betonu v jádře průřezu jsou jiné (často horší), než je tomu u povrchové vrstvy. Zvláštním případem je obetonování původního profilu novou vrstvou betonu, např. při statickém zajištění konstrukce v minulosti (záznamy o tom často neexistují). Povrch betonu mohl být v minulosti upraven sanační omítkou, která je obvykle jemnozrnná a výrazně tvrdší.

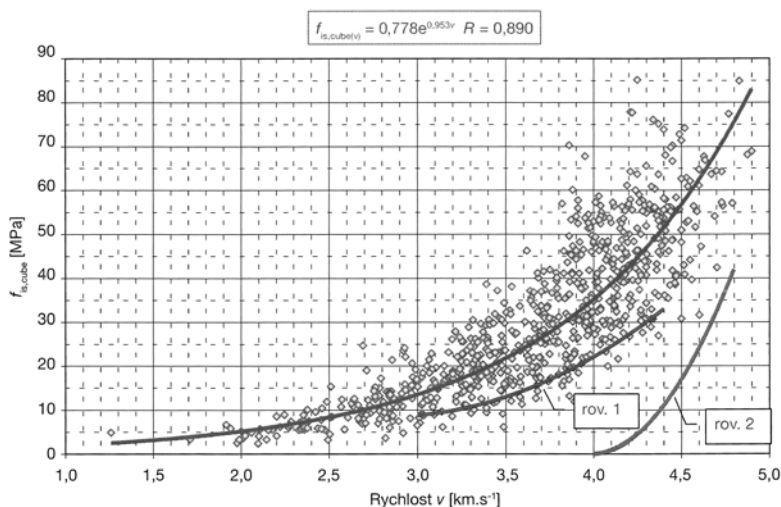
Principem zcela nedestruktivní ultrazvukové impulzové metody je měření rychlosti průchodu elektroakustického vlnění ultrazvukových frekvencí materiálem. Rychlost šíření vlnění závisí na fyzikálně mechanických vlastnostech materiálu a rovněž na přítomnosti poruch či dutin v konstrukcích. Tato metoda má proti tvrdoměrné metodě řadu výhod – není nutné vybrousit povrch na strukturu betonu, ověřujeme vlastnosti betonu v celé tloušťce prvku (za předpokladu přístupnosti protilehlých stran). Z naměřené rychlosti šíření ultrazvukového impulsu lze zjistit řadu vlastností, zejména rovnoměrnost betonu, pevnost v tlaku, modul pružnosti, výskyt poruch. Při diagnostice konstrukcí a materiálu jsou běžně používané sondy, jejichž pracovní frekvence pro beton je v rozsahu 20 kHz až 150 kHz, využití jiných frekvencí není příliš časté. Ideálním způsobem použití metody je tzv. přímé prozvučování, kdy dvojici sond přikládáme v přímce proti sobě. Dalšími způsoby měření je tzv. polopřímé prozvučování (mimo osu nebo přes roh), výjimečně nepřímé prozvučování (na povrchu betonu).



Obr. 4 Odběr vzorku betonu o průměru 75 mm jádrovým ortáním (foto P. Cikrle)

Vztahy mezi rychlostí šíření impulsu a pevností v tlaku se tedy mohou lišit podle konkrétního složení betonu. Pro neznámý beton je odhad pevnosti pouze na základě rychlosti šíření impulsu problematický. Čím je přitom pevnost betonu vyšší, tím je vzájemný vztah pevnosti a rychlosti šíření UZ impulsu méně přesný. Přesto lze pevnost v tlaku z rychlosti šíření ultrazvuku stanovit zejména v rozsahu pevností v tlaku od 5 MPa do 30 MPa – viz obr. 5. Pro upřesnění tohoto směrného vztahu je však nutné provést jeho upřesnění alespoň na minimální počet jádrových vývrtů podle ČSN 73 2011.

Ultrazvuková metoda má proti tvrdoměřům několik výhod. Zejména není nutné brousit povrch na strukturu betonu a dále zjišťujeme vlastnosti betonu v celé tloušťce. Podmínkou je ovšem dobrá přístupnost dvou protilehlých povrchů zkoušeného prvku. Celkové zhodnocení použitelnosti všech metod pro zkoušení pevnosti betonu v konstrukci je uvedeno v tab. 5.



Obr. 5 Vztah pro stanovení pevnosti v tlaku in situ z rychlosti šíření ultrazukového vlnění (repro Beton TKS, číslo 3/2013)

PŘÍMÁ METODA	NEPŘÍMÉ METODY			
	(SEMIDESTRUKTIVNÍ)	(NEDESTRUKTIVNÍ)		
(DESTRUKTIVNÍ)	(SEMIDESTRUKTIVNÍ)	(NEDESTRUKTIVNÍ)		
JÁDROVÉ VÝVRTY	MIKROVÝVRTY	SÍLA NA VYTRŽENÍ	TVRDOMĚRNÉ	ULTRAZVUK
Referenční metoda	Specifické případy	Vůbec se nepoužívá	Problémy s povrchem	Nejvýhodnější nedestruktivní

Tab. 5 Zkušební metody pro zkoušení pevnosti v tlaku betonu konstrukce

Zatřídění betonu dle ČSN 73 0038

Charakteristickou pevnost betonu ve stávajících konstrukcích lze v současné době stanovit podle ČSN ISO 13822, respektive ČSN 73 0038, kde je uveden obecný postup pro všechny druhy materiálů. Tato norma doporučuje provést nejméně 3 až 6 zkoušek. Z výsledků n zkoušek x_1, x_2, \dots, x_n materiálové vlastnosti X se stanoví průměr m_x , směrodatná odchylka s_x , a variační součinitel V_x , podle vztahů

$$m_x = \frac{\sum x_i}{n} \quad s_x^2 = \frac{\sum (x_i - m_x)^2}{n - 1} \quad V_x = \frac{s_x}{m_x}$$

Za předpokladu normálního rozdělení materiálové vlastnosti X se pak charakteristická hodnota X_k (dolní 5% kvantil) stanoví ze vztahu:

$$X_k = m_x (1 - k_n V_x)$$

kde k_n je součinitel pro stanovení 5% kvantilu, který je uveden v tab. 6.

Počet n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
V_x známý	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
V_x neznámý	–	–	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

Tab. 6 Součinitele k_n pro stanovení 5% kvantilu (charakteristické hodnoty)

Variční součinitel V_x je u starších konstrukcí vždy nutné považovat za neznámý. Ačkoliv norma umožňuje vyhodnotit pevnost v tlaku betonu konstrukce na základě tří výsledků zkoušek (jádrových vývrtů), nelze u neznámé konstrukce počet zkoušek nižší než šest vůbec doporučit, naopak počet zkoušek by měl být spíše vyšší.

Stanovení pevnosti v tahu povrchových vrstev

Tzv. odtrhové zkoušky slouží buď ke stanovení přídržnosti povrchových vrstev na nosném podkladu (stěrky, omítky, nátěry), anebo na zjištění tahové pevnosti povrchových vrstev betonu, což je většinou případ vyskytující se při hodnocení existujících železobetonových konstrukcí. Při zkoušce pevnosti betonu povrchové nebo podpovrchové vrstvy se jádrovým vrtákem s vnitřním průměrem 50 mm navrtá beton do požadované hloubky zkoušeného betonu – hloubka se řídí účelem zkoušek, někdy je účelné zjišťovat pevnost ve více vrstvách pod povrchem, aby se zjistila kvalita podkladu pro případnou sanaci, případně hloubka, do které je nutné povrchový beton odstranit. Např. při prokázání dostatečné pevnosti v tahu betonu pro nalepení zesilujících lamel, přičemž před lepením má být odstraněna pouze povrchová vrstvička betonu, jsou návrtvy provedeny pouze do hloubky cca 3 mm. Na povrch betonu návrtu se nalepí terč pro uchycení do trhačích přístroje, po zatvrdnutí lepidla se trhačkou provede zkouška v osovém tahu.

Ke zkoušce se používají ocelové nebo duralové terče o průměru 50 mm, k jejich nalepení se používá kvalitní dvousložkové rychletvrdnoucí lepidlo, např. SIKADUR CF 31 Rapid nebo X-60, se kterým je možné zkoušku provést již po jedné hodině od nalepení. Vlastní zkouška se provádí vhodným kalibrovaným trhačím zařízením, nejčastěji je používán přístroj DYNA s rozsahem 0–16 kN. Moderní varianta tohoto přístroje DYNA DY-2 Z16 již má elektrický pohon a plně automatizované měření nárůstu síly (obr. 6).



Obr. 6 Provedení zkoušky pevnosti v tahu povrchových vrstev pomocí trhacího přístroje DYNA DY-216 s plně automatickým nárůstem zatěžovací síly. Vpravo terče nalepené na povrch betonu.

Výztuže (oceli)

Metody pro lokalizaci výztuže

Pro lokalizaci výztuže máme k dispozici několik metod, které se liší jak principem, tak i mírou poškození konstrukce po jejich aplikaci.

Mezi nedestruktivní metody patří:

- metoda radiografická, buď s využitím gama záření (např. kobalt Co 60), rentgenového záření či betatronů;
- metoda elektromagnetických indikátorů;
- metoda georadaru (GPR – Ground penetration radar).

K metodám destruktivním patří:

- sekané sondy (obnažení výztuže sekáním);
- vrtané sondy (dovrtání se k výztuži ve větší hloubce, následně dosekání).

Radiografická metoda s využitím gama zářiče (kobalt Co 60) dokázala v minulosti poskytnout zřejmě nejvíce informací o poloze, množství, průměru a dokonce i druhu výztuže. Tato metoda byla schopna prozářit železobeton o tloušťce až 50 cm, ovšem z hlediska

V současnosti se na trh dostávají i další radary, např. Proceq GPR Live Array, s dosahem až 600 mm. Nevýhodou principu georadaru je fakt, že v případě lokalizace ocelové výztuže není zařízení schopné určit průměr lokalizované výztuže, ten je třeba stanovit užitím některé alternativní zkušební metody, např. elektromagnetických indikátorů. Metoda georadaru se díky přístroji Hilti PS 1000 stala jednou z hlavních metod pro lokalizaci výztuže v železobetonových konstrukcích. V kombinaci s indikátorem Profometer PM-6 se stala alternativou ke stále méně používané metodě radiografické.

Elektromagnetické indikátory výztuže jsou nejrozšířenější nedestruktivní metodou pro lokalizaci výztuže. Donedávna byly k dispozici přístroje s pouze omezeným způsobem zobrazení hledané výztuže, metoda byla poměrně nepřesná a velmi závislá na kvalifikaci obsluhy. Nový přístroj Profometer PM-6 se od předchozích typů výrazně odlišuje. Přístroj využívá moderní dotykový displej umožňující okamžité zobrazení průběhu měření, což přispívá ke kontrole postupu měření v reálném čase. K největším výhodám elektromagnetických indikátorů patří schopnost velmi přesně změřit krytí výztuže (při známém uspořádání výztuže s přesností ± 1 mm až do hloubky 50 mm), dále možnost odhadu průměru výztuže (v závislosti na hustotě vyztužení).

Vzhledem k tomu, že každá z výše uvedených metod má určitá omezení a není schopna zjistit všechny potřebné údaje, jsou obvykle provedeny cílené **sekané sondy** k vybraným výztužím, s cílem zjištění druhu výztuže, míry koroze a upřesnění odhadnutého průměru výztuže. Sekané sondy se provádějí pouze v nezbytně nutném rozsahu, např. pouze u jednoho ze skupiny stejných prvků, zatímco u ostatních se výztuž ověřuje pouze nedestruktivně.

Zjišťování míry koroze výztuže

Jednou z vlastností důležitých pro hodnocení existujících železobetonových konstrukcí je míra koroze výztuže. Pro její stanovení opět existuje více metod, ovšem zejména ty nedestruktivní nemají vždy dostatečnou vypovídací schopnost. V praxi je využívána zejména metoda tzv. poločlátku. Koroze oceli v betonu je elektrochemický proces, při němž se vytváří galvanický článek, který lze na povrchu měřit jako elektrické pole. Toto potenciální pole se měří pomocí elektrody obsahující síran měďnatý, tzv. poločlátku. Plošným měřením se rozlišují korodující a nekorodující místa, vytvoří se korozní mapa. Systém měření umožňuje použití od jedné tyčové nebo kolečkové až do čtyř sprážených kolečkových elektrod podle charakteru a rozsahu měřené plochy. Tato metoda výrazně zrychluje a zlevňuje provádění průzkum, neboť není třeba odstraňovat beton okolo celé výztuže a podle získaných výsledků stačí provést potřebné opravy pouze v místech zjištěného napadení korozí.

Pro posouzení míry koroze je vždy potřebné provést vizuální prohlídku napadené výztuže. Technické podmínky SSBK III³² uvádějí klasifikaci míry koroze výztuže a betonu ve stupních, uvedených v následující kapitole.

32 DROCHYTKA, Rostislav, Jiří DOHNÁLEK, Jiří BYDŽOVSKÝ, Václav PUMPR, Amos DUFKA a Pavel DOHNÁLEK. *Technické podmínky pro sanaci betonových konstrukcí TP SSBK III. Sdružení pro sanaci betonových konstrukcí*. Blansko. 2012. 265 s. Publikace je dobrou a účelnou pomůckou pro všechny, kdo se zabývají sanacemi. Zahnuje vše od diagnostiky konstrukcí přes návrh sanace, technologických postupů a výběru druhu materiálu až po kontrolu kvality.

Zpracování výsledků STP – stavebně technického průzkumu (zatřídění podle TP SSBK III)

Stav jednotlivých konstrukcí se hodnotí podle výsledků podrobného stavebně technického průzkumu, které slouží jako podklad pro návrh projektu sanace. Při rozhodování o způsobu sanace konstrukce hrají roli zejména tyto parametry:

- rozsah porušení povrchových vrstev betonu;
- rozsah koroze výztužné oceli;
- pevnost v prostém tahu povrchových vrstev;
- pevnost betonu v tlaku, respektive pevnostní třída;
- modul pružnosti betonu;
- vady a poruchy s vlivem na statiku;
- míra degradace a kontaminace betonu;
- odolnost betonu proti působení vlhkosti a mrazu (pokud je jim konstrukce vystavena)
- rozsah narušení povrchové úpravy, např. nátěrů či omítek.

Rozsah porušení betonu

Rozsah porušení betonu se posuzuje podle stupně porušení povrchových vrstev, který je rozdílný pro monolitické a pro prefabrikované konstrukce – viz tab. 6.

Stupeň porušení	Hloubka porušení H_p [mm]	
	Monolitické konstrukce	Prefabrikované konstrukce
M (malý)	od 0 do 10 mm včetně	od 0 do 5 mm včetně
S (střední)	nad 10 do 25 mm včetně	nad 5 do 15 mm včetně
V (velký)	nad 25 do 40 mm včetně	nad 15 do 30 mm včetně
E (extrémní)	nad 40 mm	nad 30 mm

Tab. 6 Rozsah porušení povrchových vrstev betonu

Rozsah korozního porušení výztuže

Rozsah korozního narušení výztuže závisí jednak na typu koroze, jednak na rozsahu plošného zasažení a úbytků profilů. Posuzuje se jak obnažená výztuž, tak i doposud neodhalená výztuž, nad kterou se v krycí vrstvě betonu objevují trhliny vlivem zvětšování objemu korozních produktů. V místech s trhlinou v betonu se předpokládá hloubková koroze a porušení soudržnosti s betonem. Typy koroze jsou následující:

- povrchová koroze (P): koroze povrchu výztuže bez patrného úbytku profilu. U žebírkové výztuže jsou doposud patrná jednotlivá žebírka;
- hloubková koroze (H): odlupování korozních zplodin po vrstvách, výrazný úbytek profilu; uvádí se konkrétní úbytek profilu v %;
- Extrémní koroze (E): oslabení profilu o více než 50 % plochy průřezu, případně úplné přerušování výztužného prutu.

Rozsah plošného zasažení se vyjadřuje opět v procentech zasažení výztuže. U nosníků se za 100 % považuje celková délka výztuže pod povrchem, v případě desek a stěn se za 100 % považuje celková plocha konstrukce.

Pevnost v tahu povrchových vrstev

Základní požadavek na pevnost v tahu povrchových vrstev je zpravidla definován následovně:

- $R_t \geq 1,4$ MPa u minimálně 80 % zjištěných hodnot pevnosti v tahu povrchových vrstev;
- $R_t \geq 0,8$ MPa u zbývajících 20 % zjištěných hodnot pevnosti v tahu povrchových vrstev.

Betonový podklad, který splňuje tato kritéria, je považován za vhodný pro provedení většiny sanačních zásahů. U značné části zejména starších železobetonových konstrukcí však tato kritéria nemusí být dosažena ani po odstranění povrchové vrstvy betonu do značné hloubky, respektive až v celém průřezu konstrukce. Tato kritéria mohou být modifikována a změněna na základě stavebně technického průzkumu a navrženého způsobu sanace.

Pevnost betonu v tlaku, pevnostní třída, modul pružnosti

V předchozí kapitole byla popsána řada metod pro stanovení pevnosti v tlaku betonu. Nebyla však zmíněna jedna důležitá vlastnost, totiž rovnoměrnost betonu konstrukce. Jedná se o vlastnost betonu, kdy sledované parametry z různých zkoušek betonu se od sebe příliš neliší, lze je tedy popsat jednou hodnotou, např. aritmetickým průměrem či pevnostní třídou. Vyhodnocení rovnoměrnosti betonu se provádí podle ČSN 73 2011 na základě posouzení jiných vlastností, jako jsou pevnost v tlaku, pevnost v tahu, objemová hmotnost nebo rychlost šíření ultrazvukového vlnění. Pro beton hodnocený jako rovnoměrný lze stanovit pevnostní třídu a porovnat ji s třídou betonu požadovanou projektovou dokumentací, anebo ji použít pro statický přepočet konstrukce.

Pokud je beton hodnocen jako nerovnoměrný, pak se provede rozdělení částí konstrukce do souborů splňujících požadavky na rovnoměrnost. Vyberou se zóny s nižší než požadovanou pevností a zde se provede doplňkový průzkum s cílem potvrdit či upřesnit pevnostní třídu betonu.

Zatřídění betonu do pevnostní třídy se provede buď na základě výsledků destruktivních zkoušek podle ČSN ISO 13822 (ČSN 73 0038), pokud jich je dostatek, anebo na základě výsledků upřesněných nedestruktivních zkoušek podle ČSN 73 2011. Vlastní pevnostní třídy jsou uvedeny v ČSN EN 206.

V případě, že stanovená pevnostní třída betonu nespĺňuje požadavky ani na minimální třídu pro nosné konstrukce (jedná se o pevnostní třídu C 12/15 dle ČSN EN 206), anebo nesplní podmínky statického výpočtu, provedou se doplňkové zkoušky, eventuálně se vypracuje návrh opravných opatření.

Modul pružnosti betonu je významný u konstrukcí citlivých na deformace, což jsou např. mostní konstrukce. Z hlediska hodnocených starších konstrukcí má význam pro návrh sanace, neboť modul pružnosti správkových malt by měl být stejný nebo mírně nižší než modul pružnosti původního betonu.

Vady a poruchy s vlivem na statiku

Mezi tyto vady a poruchy patří zejména:

- staticky závažné trhliny, u nichž je šířka větší než přípustná podle ČSN EN 1992-1-1;
- vážné výrobní vady jako rozmísení betonu, výskyt velkých kaveren a hnízd v betonu, neošetřených pracovních spár, nezhotvených míst, míst s výrazně nižší pevností v tlaku;
- poškození konstrukce neodbornými zásahy, zejména vlivem proražení či prořezání prostupů pro potrubí;
- výrazná narušení vlivem synergického působení vlhkosti, mrazu a chemických rozmrazovacích látek (do hloubky přesahující 40 mm);

Vady a poruchy s vlivem na statiku je vždy nutné posuzovat individuálně. Uvedené poruchy se zdokumentují a zakreslí do výkresové dokumentace, včetně údajů o délkách a hloubkách. Případně se rovněž určí příčina jejich vzniku.

Degradace, kontaminace a působení vlhkosti a mrazu na beton

Pro efektivní návrh sanace betonu je zapotřebí stanovit i míru degradace betonu agresivními látkami z prostředí, jako jsou agresivní plyny CO_2 , SO_2 , agresivní kapaliny (např. roztoky síranů, chloridů).

Dále je nutné posoudit, zda není beton kontaminován nebezpečnými cizorodými látkami – chloridy z důvodu extrémního rizika koroze výztuže, oleji z důvodu značného snížení adheze sanačních hmot k podkladnímu betonu.

V neposlední řadě je nutné posoudit, zda je pojivo na bázi portlandského či hlinitanového cementu.

Posouzení synergického působení vlhkosti a mrazu, často v kombinaci s chemickými rozmrazovacími látkami, je nutné posuzovat u těch venkovních konstrukcí, které jsou náchylné k pronikání vlhkosti. U těchto konstrukcí je doporučeno přikotvení správkových hmot k podkladu pomocí výztuže kari sítí.

Doporučené postupy pro sanaci poruch a zpevňování konstrukcí

Po provedení potřebných zkoušek a vyhodnocení výše uvedených parametrů je možno stanovit rozsah snížení spolehlivosti (bezpečnosti, použitelnosti a trvanlivosti) konstrukce a jejích prvků. Teprve potom je možno při respektování příslušných normových předpisů rozhodnout o volbě potřebných opatření a stanovit cíl sanace s ohledem na druh, účel a konstrukci stavby, potřeby a ekonomické možnosti investora a rozsah omezení užívání stavby v průběhu prací. Vzhledem k tomu, že podmínek a požadavků podmiňujících rozhodnutí o vhodném způsobu sanačních opatření je mnoho, je žádoucí, aby projekt pro optimální sanaci zpracovával zkušený odborník či dokonce celý tým odborníků.

Rozsah sanačních opatření je velmi široký. Může se jednat o jednoduchý nátěr, ale i o komplikované a rozsáhlé zesilování konstrukcí. Materiály a postupy pro sanaci a ochranu betonových konstrukcí stanovuje norma ČSN EN 1504 (732101) Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody.

Technologické postupy při jednodušší opravě poškozených míst

Zaměříme se nyní stručně na technologické postupy při jednodušší opravě poškozených míst a na pro tento účel používané materiály.

Trvanlivost a kvalita sanačních opatření závisí ve značné míře na soudržnosti nového a původního materiálu. Z tohoto důvodu je nutné, aby betonový podklad byl dostatečně pevný a čistý. Betonovou plochu je potřeba:

- očistit od zbytků nátěrů, impregnačních prostředků a ostatních nečistot;
- odstranit uvolněné nebo mechanicky poškozené části;
- v případě potřeby odstranit zkarbonatovanou³³ vrstvu znehodnoceného betonu.

To je možno provést vysokotlakým čištěním, otryskáváním vodou nebo pískem, frézováním, broušením nebo chemickými metodami. Rovněž korodující ocelová výztuž musí být očištěná – ocelovým kartáčem, otryskáváním pískem nebo vodou pod tlakem. Přímo na očištěnou výztuž je možno použít ochranný nátěr, který zlepšuje její ochranu v betonu. Pro reprofilaci povrchu se používá:

³³ Jedná se o beton porušený vlivem působení vnějšího prostředí. V betonu dojde k poklesu pH z hodnoty 12,5 na hodnotu 9,5 a nižší, ocelová výztuž pak ztrácí ochranu proti korozi.

- cementová malta nebo beton (rozhoduje tloušťka opravované vrstvy);
- stříkaný beton – torkret (hodí se na opravu povrchových poškození, ale i k nahrazení silnějších vrstev betonu a zesilování betonových konstrukcí);
- modifikované cementové směsi (cementová malta nebo beton s přísadou tekutých nebo práškových disperzí syntetických polymerů, které upravují vlastnosti těchto směsí v čerstvém nebo zatvrdlém stavu);
- plastbeton (pojivem je syntetická živice, plnivem kamenivo).

Beton je porézní stavební materiál. Všechny korozní procesy jsou u něj vyvolány agresivními látkami v plynné nebo kapalné podobě, které pronikají kapilárním systémem pórů. Schopnost betonu odolávat účinkům okolního prostředí závisí v rozhodující míře na nepropustnosti povrchových vrstev betonu. Pokud nebyl beton v prvopočátku zpracován jako hutný, málo propustný beton, je potřeba ho chránit povrchovou úpravou (impregnační nebo nátěrem, případně kombinací obou). Ty mají za úkol:

- zabránit pronikání vody a s ní korozních látek do betonu;
- účinně zpomalit postup negativně působících plynů (CO_2 , SO_2 , NO_x), případně dalších oxidů z atmosféry.

Na povrchu betonové konstrukce se mohou objevovat trhliny. Samotné trhliny nezavdávají důvod ke znepokojení a není ani potřeba je opravovat, pokud nemají nepříznivý vliv na spolehlivost konstrukce. Pokud ale je shledán důvod k opravě, je možno podle účelu volit z několika možností opravy:

- nátěry překrývající trhliny – silně omezují přístup agresivních látek k betonu a výztuži, nepřenášejí však tahové ani smykové napětí a nevytvářejí pružný spoj;
- injektování trhlín – epoxidovými živicemi (kterým dáváme dnes přednost) nebo cementovou maltou, přičemž epoxidové živice dokážou vyplnit trhliny a dutiny daleko menší šířky než cementová malta nebo cementová suspenze;
- vytvoření spár v místě trhlín – pokud se trhlina opakovaně otvírá, je vhodnější trhlínu řezem rozšířit a zaplnit flexibilní hmotou;
- uzavření trhlín externím předpětím – pokud je potřeba trhlínu uzavřít nebo zesílit nějakou část konstrukce, je vhodné použít externí předpínací lana nebo tyče;
- dodatečné vlepění nerezové helikální vysokopevnostní výztuže do tixotropní kotevní vysokopevnostní malty – tmelu, do připravených vrtů a drážek v daném konstrukčním prvku. Systém eliminuje při vysoké účinnosti zásah do konstrukce na minimum, drážky i vrtý jsou velmi malé, nabízí vysokou variabilitu průběhu a tvaru výztužení.

Statické zajištění konstrukce

Způsoby statického zajištění

Statické zajištění železobetonových konstrukcí vychází z poněkud odlišných podmínek oproti např. zajišťování masivních zděných konstrukcí či kamenných kleneb. Zajištění konstrukce jako celku se používá jen ojediněle, spíše dochází ke zpevnění konkrétních porušených či oslabených prvků. Vždy se však vychází z charakteru zajišťovaných konstrukcí – rozhoduje zejména tuhost konstrukčních celků, materiálové vlastnosti a vzájemné spolupůsobení jednotlivých prvků, které je odlišné pro mostní konstrukce, panelové budovy se stěnovým systémem či prostorové rámové konstrukce s relativně subtilními prvky (sloupy, průvlaky a deskami). Rozhodujícím faktorem může být i statická určitost či neurčitost konstrukce – např. u průmyslových vícepodlažních objektů se obvykle jedná o staticky neurčité konstrukce s rozdílným průběhem vnitřních sil u jednotlivých rámu, hodnoty vnitřních sil se liší v jednotlivých podlažích a prvcích. Jakýkoliv statický zásah ve formě vnesení předpětí se potom projeví nejen v dotčeném prvku, ale i v jeho širokém okolí (každá akce vyvolá reakci), a proto je vždy nutný komplexní a podrobný statický výpočet celé konstrukce, nejen její části.

Pro statické zajištění porušených prvků existuje vždy více možností. Rozhodnutí o statickém zajištění prvků nebo části konstrukce vychází z toho, o jaký prvek se jedná, jakým způsobem je porušen a rovněž jak spolupůsobí s dalšími částmi konstrukce. Obecné příčiny poruch železobetonových prvků jsou:

- chybný statický návrh;
- vadné provedení;
- externí účinky (např. požár, poddolování, přetěžování);
- nevhodné zásahy uživatele (vybourání části konstrukce, průrazy, apod.).

Poruchy konstrukcí mohou mít charakter buď globální (týkají se konstrukce jako celku), anebo lokální, např. koroze výztuže v místě zatékání, trhliny v nosníku vlivem jeho lokálního přetížení, apod. Z hlediska nosných prvků se obvykle jedná o poruchy:

- nosníků;
- sloupů;
- průvlaků;
- desek.

Většina poruch všech prvků se projevuje v první řadě zvýšeným přetvořením (průhybem), s nímž přichází vznik a rozvoj trhlin. Pokud šířka trhlin přesáhne požadavky uvedené v Eurokódu (obvykle 0,3 mm), může to mít negativní vliv na rozvoj koroze výztuže, dále klesá tuhost celé konstrukce. Podle charakteru poruch (globální, lokální, trhliny ohybové,

smykové, od posouvajících sil, jiné) se následně volí optimální způsob zesílení prvku nebo statického zajištění. Mezi způsoby zesílení železobetonových prvků patří:

- zvětšení dimenzí prvku torkretováním nebo obetonováním (v obou případech dochází k zakrytí původní materie a změně rozměrů prvků);
- přidání výztuže do tažené oblasti, bez zvětšení nebo se zvětšením průřezu (nová výztuž musí být vždy překryta vrstvou nového betonu);
- přidání ocelové bandáže (zde dojde ke změně vzhledu, původní materie je však zachována);
- přidání externí lepené výztuže, např. na bázi uhlíkových vláken;
- přidání externích ocelových nosníků, tzn. v podstatě vestavba podpůrné nosné konstrukce;
- použití předpětí prvku, kdy po sepnutí lany dojde ke stlačení konstrukce a uzavření výrazných trhlin.

Většina z uvedených způsobů zesílení znamená jistý zásah do vzhledu i materiálu původní železobetonové konstrukce. Je tedy nutné zvolit co nejšetrnější řešení statického zajištění, ovšem nesmí to být na úkor bezpečnosti konstrukce.

Zesilování základových konstrukcí

Rekonstrukci základů lze zajistit několika různými způsoby, v zásadě pak:

- plošným rozšířením základů (obetonováním, podbetonováním);
- dodatečným hlubinným podepřením (mikropilotami, pilotami, šachtovými pilíři, pilíři tryskovými injektážemi nebo hloubkovým mícháním zeminy – deep soil mixing);
- rozšířením základů s využitím předpínání (např. předepnuté základové pasy).

Příklady z praxe

Příklady průzkumů

Příklad průzkumu továrních budov

Využití ultrazvukové metody v kombinaci s vývrty pro stanovení pevnosti v tlaku betonu historické konstrukce si ukážeme na příkladu dvou starých továrních objektů (hala „A“, hala „B“), postavených mezi lety 1915–1920. Účelem průzkumu bylo zjistit skutečný stav nosné konstrukce z hlediska budoucího využití. V obou případech byly vnější zdi zděné z cihel, vnitřní nosná konstrukce je železobetonová, tvořená podélnou řadou sloupů spojených podélným průvlakem s náběhy. Z něho vybíhají příčná žebra rovněž s náběhy, mezi nimiž jdou železobetonové desky – viz obr. 8.



*Obr. 8 Železobetonové nosné konstrukce dvou hal z let 1915–1920 – vlevo hala „A“,
opravo hala „B“*

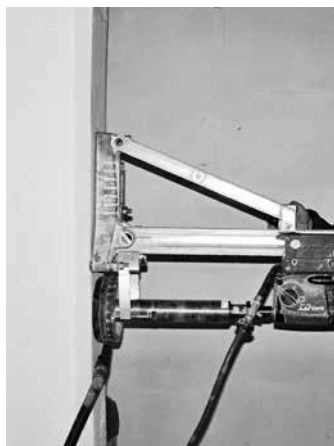
Nosné konstrukce na první pohled zaujmou štíhlostí tvarů – jedná se o typické konstrukce z tohoto období, které byly navrženy s maximální úsporností a bez přílišných rezerv únosnosti. Rovněž v obou případech je ve 3. NP jejich profil ještě výrazně zeštíhlen – i z toho je patrná snaha o úsporné řešení, nad posledním nadzemním podlažím byla „jen“ střecha.

Zatímco ve stropní konstrukci haly „A“ byly výrazné trhliny, stav sloupů v obou halách se na první pohled nezdál nikterak špatný. Ze zkušeností s podobnými konstrukcemi však víme, že beton před 100 lety obvykle nebyl příliš kvalitní – jak z hlediska použitého tmelu, tak zejména z hlediska použitého kameniva. Většinou se jednalo o neprané těžené kamenivo s nepravidelnou frakcí a nepříznivým tvarovým indexem zrn. Proto bylo přikročeno k ověření materiálových vlastností, nejprve čistě nedestruktivně pomocí ultrazvukové průchodové metody (obr. 9), poté upřesnění na jádrových vývrtech (obr. 10). Výsledky nedestruktivních měření vyhodnocené na základě směrného vztahu jsou pro obě haly uvedeny v tab. 7.

Obr. 9 Provádění ultrazvukového měření na sloupech



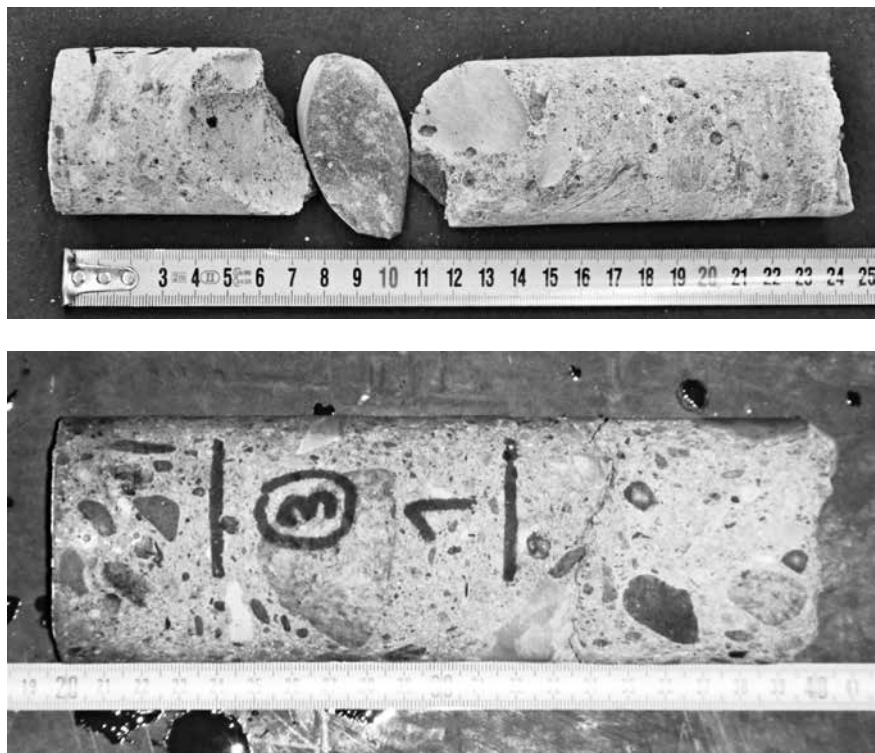
Obr. 10 Odběr jádrového vývrtnu



Sloupy A			Sloupy B		
zk. místo	v_{uz} [m/s]	f_{be} [MPa]	zk. místo	v_{uz} [m/s]	f_{be} [MPa]
A1	2896	12,3	B1	3080	14,6
A2	2840	11,7	B2	3010	13,7
A3	2859	11,9	B3	2960	13,1
A4	2829	11,5	B4	2910	12,5
A5	3137	15,5	B5	3040	14,1
A6	3098	14,9	B6	2880	12,1
A7	3080	14,6	B7	3060	14,4
A8	3075	14,6	B8	3120	15,2
A9	2996	13,5	B9	3240	17,1
A10	2975	13,3	B10	2950	12,9
A11	2930	12,7	B11	3380	19,5
A12	2960	13,1	B12	3070	14,5
A13	2879	12,1	B13	3250	17,2
A14	2797	11,2	B14	2970	13,2
A15	2857	11,8	B15	2990	13,4
A16	2920	12,6	B16	3090	14,8
Průměr	3062	13,0	Průměr	2945	15,5

Tab. 7 Rychlost šíření ultrazvuku a pevnost v tlaku na sloupech v hale „A“ a „B“

Rychlost šíření ultrazvukového vlnění vyšla poměrně nízká – v průměru 3 062 m/s u sloupů z haly „A“ a 2 945 m/s pro sloupy z haly „B“. V obou případech tyto výsledky ukazovaly na nízkou pevnost v tlaku betonu – hranice 3 000 m/s je považována za hranici pro špatný (= nekonstrukční) beton. Pevnost v tlaku vypočtená z rychlosti šíření ultrazvukového vlnění tak vycházela 13,0 MPa a 14,5 MPa. Výsledky nedestruktivních zkoušek však bylo nutné ještě upřesnit dle zásad ČSN 73 2011. Z toho důvodu byly odebrány u každé konstrukce tři jádrové vývrtky. Jak je patrné z dokumentace vývrtků (obr. 4), kvalita betonu byla ovlivněna zejména nízkým obsahem cementového pojiva (napovídá béžová barva), nevhodným druhem a složením kameniva (těžené, velká plochá zrna) a v neposlední řadě špatnou soudržností mezi kamenivem a tmelem, hlavně u vzorků z haly „A“. To se projevilo i na zkouškách pevnosti v tlaku pro upřesnění nedestruktivních zkoušek.



Obr. 11 Jádrový vývrt z betonu sloupu v hale „A“ (nahore) a „B“ (dole) jsou si podobné, avšak vývrt „A“ se po odrtání rozpadl z důvodu špatné soudržnosti kameniva a tmelu

Součinitel upřesnění α , který se počítá jako podíl hodnot pevností v tlaku získaných na vývrtech a nedestruktivní metodou, je uveden v tab. 8. Z výsledků vyplývá, že vlivem horší soudržnosti kameniva s tmelem u betonu z haly „A“ vychází výsledky na vývrtech hůře, a tím pádem je hodnota upřesňujícího součinitele α nižší než 1,00, konkrétně 0,82. U betonu z haly „B“ je to přesně naopak ($\alpha = 1,21$). Po vynásobení všech výsledků nedestruktivních zkoušek těmito součiniteli vzniká větší rozdíl mezi betony z obou hal, průměrné pevnosti v tlaku jsou u haly „A“ 10,6 MPa, zatímco u haly „B“ 17,5 MPa.

Po provedení výpočtů dle normy ČSN 73 2011 pak vychází charakteristická pevnost v tlaku in situ $f_{ck, is}$:

hala „A“ $f_{ck, is} = 8,6 \text{ MPa};$

hala „B“ $f_{ck, is} = 13,2 \text{ MPa}.$

část konstrukce	zkušební těleso	pevnost f_{be} [MPa]	pevnost $f_{ck, is}$ [MPa]	součinitel α
sloupy hala A	A1	12,3	9,7	0,82
	A2	15,5	12,7	
	A3	11,2	9,5	
sloupy hala B	B1	14,6	17,4	1,21
	B2	13,4	17,6	
	B3	16,7	18,9	

Tab. 8 Součinitel upřesnění α pro přepočet NDT pevností v tlaku

Protože k upřesnění došlo na tělesech vyrobených z jádrových vývrtů, stačí podle ČSN 732011 dosáhnout 85 % charakteristické pevnosti v tlaku pro danou pevnostní třídu. Beton z haly „A“ je tak možné zařadit do pevnostní třídy C 8/10, zatímco beton z haly „B“ do pevnostní třídy C 12/15. Beton ze sloupů haly „A“ tak nesplnil ani minimální požadavky na beton do nosných železobetonových konstrukcí (při nižší pevnostní třídě než C 12/15 není zajištěna ani minimální soudržnost betonu s výztuží), zatímco beton z haly „B“ ano. Konstrukci „A“ tak nelze přepočítat podle současných betonářských norem. Vzhledem k nízké soudržnosti pojiva nelze takovou konstrukci zesílit jednoduchým způsobem, např. nalepením přídatné výztuže ve formě uhlíkových vláken. Pro její zachování tak připadá v úvahu jeden ze složitějších a vzhled měnících způsobů statického zajištění:

- 1) zesílení nosné konstrukce obetonováním (s přidáním nové výztuže);
- 2) zesílení nosné konstrukce ocelovou bandáží sloupů;
- 3) vestavění nové ocelové konstrukce.

Diagnostika konstrukce bazénu na zámku v Napajedlech

Zámek v Napajedlech – pozdně barokní stavba postavená v letech 1764 až 1769 se stala vlivem špatné finanční situace posledního šlechtického majitele v roce 1935 majetkem firmy Baťa. Jan Antonín Baťa, který tehdy firmu řídil, zde chtěl vybudovat střední školu Tomášov za účelem výchovy vedoucích pracovníků Baťových závodů. V té době byl pro větší komfort frekventantů zámecký areál doplněn bazénem podle návrhu Vladimíra Karfíka. Bazén byl konstruován jako železobetonová vana s povrchovou úpravou teracem, nad terén vystupovala profilovaná hlava opět povrchově upravená teracem imitujícím pískovec. Bazén podle dochované fotodokumentace sloužil ještě v 50. letech, někdy z té doby pravděpodobně pocházejí vysrávky dna. Další používání není doloženo, prokazatelně posledních cca 25 let se ale bazén nepoužívá. Současný majitel zámku si je vědom památkových hodnot bazénu, který je pravděpodobně svého druhu jediný na území bývalé Československé

republiky, a chce bazén obnovit. Rozhodl se pro diagnostický průzkum železobetonové konstrukce bazénu.



Obr. 12 Bazén u zámku v Napajedlech

Provedení průzkumu bylo nezbytné pro posouzení konstrukce bazénu z hlediska jejího budoucího využití. Cílem průzkumu bylo ověřit stav vyztužené betonové konstrukce pro následné rozhodnutí o možných způsobech opravy. Již na základě prvotní prohlídky bylo zřejmé, že stav bazénu zejména z hlediska povrchových úprav a dna není příliš dobrý. Přesto se nabízelo několik možných scénářů využití stávající konstrukce bazénu:

- 1) konstrukce bazénu je v dobrém stavu a bude ji možné povrchově sanovat (opravit);
- 2) konstrukce bazénu je ve špatném stavu a sanace by byla nákladná, ovšem část konstrukce je možné použít alespoň jako ztracené bednění;
- 3) konstrukce bazénu je natolik špatná, že je třeba ji zcela vybourat.

Pro hodnocení stavu bazénu bylo zapotřebí zjistit stav betonu, lokalizovat a identifikovat betonářskou výztuž a zjistit další skutečnosti týkající se zejména styků stěn a dna bazénu. Pro posouzení konstrukce bazénu bylo proto navrženo:

- stanovení pevnostní třídy betonu v tlaku na vzorcích vyrobených ze tří jádrových vývrtů (jednalo se o minimální možné množství, ovšem z každého vývrtu se počítalo s jedním až dvěma zkušebními tělesy). Tyto vývrty se musely odebrat, vyšetřit, upravit na zkušební tělesa a dále vyzkoušet;

- stanovení přídržnosti, respektive pevnosti v tahu povrchových vrstev betonu. To bylo důležité pro posouzení, zda lze povrch sanovat, případně zda lze do stávajícího betonu přikotvit novou stěnu;
- jelikož se jedná o železobetonovou konstrukci, bylo rovněž nezbytné zjistit vyztužení konstrukce (množství, polohu, průměry, druh a míru koroze výztuže);
- z důvodu ochrany výztuže proti korozi a trvanlivosti konstrukce bylo nezbytné zjistit hloubku karbonatace, respektive pH betonu. Při ztrátě pH (pod hodnotu 9,5) ztrácí beton funkci pasivní ochrany výztuže a výztuž může korodovat;
- chemický rozbor betonu, rentgenová difrakční analýza a diferenční termická analýza stanovily podrobnějším způsobem míru degradace betonu. Tato zkouška byla navržena pouze na jednom vzorku, z důvodu minimalizace nákladů;
- napojení dna a stěny, tloušťka stěny a rovněž skladba dna byly rovněž důležité informace pro ideový návrh opravy. Pro jejich získání byly navrženy sondy.

Návrh průzkumu byl koncipován tak, aby s minimem nákladů bylo zjištěno co nejvíce informací o stávající konstrukci. Byly vybrány tři základní zkušební oblasti na svislých stěnách a jedna zkušební oblast na desce dna a provedeny následující zkoušky:

- jádrový vývrt;
- odebrání vzorku pro chemickou analýzu;
- zkoušky přídržnosti;
- stanovení tloušťky stěny ultrazvukem, ověření tloušťky vrtem v místě vývrtu;
- stanovení vyztužení magnetickým indikátorem Profometer PM-630;
- stanovení vyztužení radarem Hilti PS 1000 X-scan;
- sekané sondy pro ověření výztuže;
- fenolftaleinový test;
- fyzikálně chemické analýzy (chemický rozbor, rentgenová difrakční analýza, diferenční termická analýza, stanovení pH ve výluhu).

Po provedení zkoušek v naplánovaném rozsahu se ukázalo, že stav konstrukce je špatný. Na základě výsledků průzkumu byly definovány tyto hlavní problémy:

- Stav povrchové vrstvy teraca na stěnách je špatný, neboť tato vrstva je protkána hustou sítí trhlin prakticky v celé ploše bazénu. Trhliny procházejí až do podkladního betonu. Rovněž tahová pevnost (soudržnost) teraca nesplňuje kritéria pro možnou sanaci, takže bude nezbytné jej odstranit.

- V podpovrchové vrstvě betonu se v různých hloubkách pod povrchem stěn (obvykle ve 40 mm, 80 mm a 120 mm) nachází výrazné delaminace stěn, tedy trhliny rovnoběžné s povrchem stěn. Příčina není známa, lze však usuzovat na působení mrazu, možná v kombinaci s objemovými změnami materiálu. V podstatě to znamená, že nelze jednoduše sanovat povrch, pokud k poruše může dojít ve větší hloubce. Odstranění nesoudržných vrstev by znamenalo tak velký zásah do konstrukce (včetně výztuže), že se jeví jako neefektivní.
- Vyztužení konstrukce je poměrně pravidelné, nicméně z dnešního hlediska se jedná o slabě vyztužený beton – byly nalezeny hladké kruhové výztuže o průměru 8–10 mm s roztečemi 220 mm, což je z hlediska zachycení tahových sil a objemových změn vyztužení nedostatečné.
- Vlastní beton konstrukce, pokud odhlédneme od výrazných trhlin, má na dobu vzniku uspokojivou pevnost v tlaku, odpovídá pevnostní třídě C 12/15.
- Zásadní problémem je způsob provedení a izolace dilatačních spár. Lze konstatovat, že použité konstrukční řešení je již překonané, izolace svislých i vodorovných spár jsou již zcela strávené, navíc svislé a vodorovné dilatační spáry na sebe ne vždy navazují, v jinak kompaktní desce dna byla nalezena rovněž řada trhlin.
- Chemické analýzy ukázaly, že vlastní beton stěn je z hlediska degradace (karbonatace, ztráta pH, obsah chloridů) v podstatě v pořádku. Výše popsané problémy konstrukčního a technologického rázu jsou ale z hlediska budoucího využití betonové konstrukce limitující.³⁴



Obr. 13 Příprava pro odběr jádrového výtvaru, Obr. 14 Identifikace výztuže ve dně bazénu

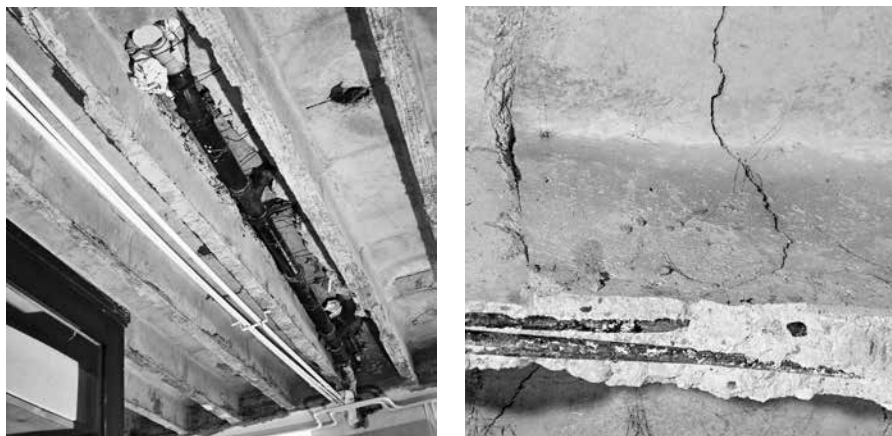
Po vyhodnocení zkoušek a z nich vyplývajících závěrů bylo konstatováno, že sanace betonového tělesa bazénu je velmi obtížně proveditelná jak z důvodu špatných vlastností povrchu (až do hloubky minimálně 120 mm), tak i z hlediska nevhodného konstrukčního

³⁴ CIKRLÉ, Petr. *Zpráva o diagnostice konstrukce bazénu na zámku v Napajedlech*. Fakulta stavební VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno. Centrum AdMaS, Výzkumná skupina KDS Profitcentrum SZK(12536).

řešení bazénu, zejména dilatačních spár. Pro zprovoznění bazénu bude použito moderních materiálů a technologií, které ale budou korespondovat s původním vzhledem bazénu, a část konstrukce po odstranění problematických částí bude použita jako základ či ztracené bednění. Tak se zachová alespoň část původní materie, i když již pod novými konstrukčními vrstvami neviditelná. Toto řešení bylo plně akceptováno investorem i pracovníky památkové péče.

Následky nevhodného zásahu do konstrukce

K nevhodným zásahům do konstrukce dochází v průběhu celé životnosti stavby, a často již při výstavbě. Značná část je způsobena dodavatelem TZB, kdy jsou prvky oslabovány z důvodu vedení nejrůznějších potrubí. Na obr. 15 je uveden příklad vysekání celého jednoho pole desky žebříkového stropu (konstrukce z roku 1930), z důvodu vedení odpadního potrubí. Důsledkem zásahu je snížení tuhosti stropu jako celku a vznik trhlin v okolních nosnících.



Obr. 15 Poškození stropní konstrukce neodborným vybouráním jednoho pole desky pro vedení odpadního potrubí, vpravo trhliny v žebrech a obnažená výztuž (konstrukce z roku 1930)

Dalším příkladem je nevhodný způsob přitížení či změny statického působení konstrukce. Ve stropní konstrukci byl z nějakého důvodu navržen kloub ve vzdálenosti cca 1 m od místa podpěry (obr. 16). To by nebylo nic výjimečného, tzv. Gerberovy nosníky s klouby jsou běžně využívány, ovšem kloub se vkládá do míst nulového ohybového momentu. V tomto konkrétním případě však došlo k nadstavbě objektu a změně dispozice horního patra, kdy nosná zeď v tomto patře byla o 1 m posunuta právě do místa kloubu, což krátce po výstavbě způsobilo značné deformace stropní konstrukce a porušení v místě kloubu. Následně došlo k provizornímu statickému zajištění pomocí neodborně provedeného obandážování

ocelovými L profily. V současné době se řeší zesílení pomocí vestavěné ocelové konstrukce (svislé i vodorovné).

Obr. 16 Poškození stropní konstrukce kombinací nevhodného návrhu a následně nevhodného přetížení konstrukce. Do stropní konstrukce vložen kloub (tzv. Gerberův nosník), následně došlo k nadstavbě objektu a postavení nosné zdi nad tímto kloubem. Provedené statické zajištění je provizorní a na praporo nedostatečné.



Dalším příkladem nevhodného zásahu do konstrukce je opět přetížení konstrukce při nadstavbě objektu, tentokrát se jedná o přetížení sloupů. Případ je o to závažnější, že zásah byl proveden po „odborném“ přepočtu statikem, který však pouze převzal údaje z projektové dokumentace a neověřil si vlastnosti materiálu (a případné poruchy) podrobným průzkumem a zkouškami. Při provádění stavebních prací o patro výše došlo k přetížení jednoho ze sloupů a drcení betonu. Následně došlo i k přetížení svislé nosné výztuže, respektive k jejímu vyboulení v místě ne příliš hustých třmínků. Jen díky redistribuci namáhání na okolní prvky nedošlo ke kolapsu celé konstrukce. Konstrukce byla provizorně zajištěna a sloup nahrazen novým sloupem (doplnění výztuže, dobetonování). Při následném průzkumu se zjistilo, že většina ostatních sloupů je rovněž částečně narušena vlivem nadměrného stlačení, takže musely být zesíleny všechny.

Obr. 17 Kolaps železobetonového sloupu vlivem přetížení od probíhající nadstavby objektu. Při přetížení došlo k drcení betonu a následně vyboulení svislé nosné výztuže. Vpravo je sloup po odstranění nesoudržných částí betonu.



K poškození konstrukce uživatelem může dojít i bez zjevného úmyslu či vlivu fyzického zásahu do nosné konstrukce. Příkladem je kontaminace stropní konstrukce bývalé textilní továrny provozními kapalinami – strojním olejem (obr. 18). Šlo samozřejmě o zanedbanou údržbu strojů, kdy byl beton vystaven po dlouhou dobu působení vytékajícího oleje, takže je jím v současnosti zcela prosycen. Při zkouškách pevnosti v tlaku se neprokázalo výrazné snížení pevnosti v tlaku betonu, došlo však ke zhoršení soudržnosti mezi výztuží a betonem a navíc se výrazně zhoršila použitelnost konstrukce – dekontaminace není prakticky možná.



Obr. 18 Poškození stropní konstrukce provozem strojů v bývalé textilní továrně v Brně. Rozsáhlá část stropní konstrukce je kontaminována strojním olejem (konstrukce z roku 1928)

Závěr

Období mezi dvěma světovými válkami je pro naše země obdobím utváření a rozkvětu mladé Československé republiky a jejím ukotvením do světového kontextu jako prosperujícího, vyspělého a slibně se vyvíjejícího státu s osmou nejsilnější ekonomikou na světě. Tato mladá zkvétající republika mění dosavadní životní styl a způsob obživy svých obyvatel, rozvíjí se průmysl, lidé se stěhují z venkova do měst. Pro potřeby nové republiky vznikají nová administrativní a společenská centra. Světová architektura tohoto období doznává rovněž zásadní změny – opouští tradiční historizující a zdobné styly a zaměřuje je za jednoduché čisté tvary bez zbytečných ozdob. Hlavními stavebními materiály je ocel, sklo a hlavně železobeton, který skýtá do té doby nemyslitelné, dosud netušené konstrukční možnosti. Do vývoje architektonické moderny zřetelně promlouvají českoslovenští architekti a tvoří nadčasová díla.

Je zcela přirozené, že výtvoři determinované takovýmto kontextem chceme chránit jako svědka šťastné a úspěšné doby, jako výpověď umu československých architektů a techniků, jako doklad vyspělé úrovně tehdejší Československé republiky. V památkové péči se tedy formuluje otázka přístupu k záchraně těchto hodnot.

Do jisté míry je vodítkem správného postupu hodnocení existujících konstrukcí (budov, mostů, průmyslových staveb, atd.) mezinárodní norma ČSN ISO 13822 z prosince 2014.³⁵ Normu lze použít pro hodnocení každé existující stavební konstrukce a také pro konstrukce

³⁵ ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí. 2. vydání. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2014. 54 s. ICS 91.080.01

provedené na základě kvalitní řemeslné práce, dlouhodobých zkušeností a obecně platných profesionálních postupů.

Postup hodnocení závisí na účelu hodnocení a na dostupnosti původní projektové dokumentace, na zjištěných škodách, na způsobu využívání konstrukce, atd. Důležitou součástí této normy je Příloha I, která se zabývá hodnocením konstrukcí kulturních památek. Příloha vychází z předpokladu, že konstrukce mohou mít vlastní kulturní nebo historickou hodnotu. Tato hodnota je vyjádřena památkovou hodnotou a specifikována jako *estetický, historický, vědecký, kulturní, společenský nebo náboženský význam pro minulé, současné a budoucí generace, který má být obsažen v charakteristických prvcích památky*.³⁶

Je však potřeba mít na paměti, že každá stavba z betonu tohoto období je specifickým jedinečným dílem, na kterém se mnohdy vyzkoušela poprvé některá přísada či příměs nebo nový, do té doby nevyzkoušený technologický postup, případně byla výstavba „pouze“ poplatná finančním možnostem stavebníka či celkové politice šetrnosti.

Navíc je potřeba si uvědomit, že betony používané za první republiky se od těch dnešních svými parametry liší a v některých případech dnes požadovaných normových hodnot nedosahují.

Například v normě ČSN 1090–1931,³⁷ pojednávající o požadovaných vlastnostech betonu a oceli a zásadách navrhování železobetonových konstrukcí se v kapitole B. Dovolena namáhání dočteme:

[...] Druhy betonu. Na konstrukce ze železového betonu se smí užítí betonu druhů f a g jen při zvláště pečlivé práci a splní-li se ještě tyto podmínky:

- a) návrh, zejména statický výpočet a podrobné zpracování plánů dokonale vyhovují všem požadavkům co do přesnosti a zeorubnosti,*
- b) stavbu provádí osvědčený odborník,*
- c) betonářské práce řídí svědomitý odborník, který je na staveništi trvale přítomen a dokonale ovládá projekt,*
- d) na stavbě se vykonává stálá, zvláště pečlivá zkušební kontrola betonářských stavio a prací, zejména i co do zrnitosti písku a štěrku a hustoty betonové směsi.*³⁸

Abychom se v problematice značení betonů lépe orientovali, použijeme tab. 9 pro převod starších druhů, značek a tříd betonu na pevnostní třídy betonu uvedené v ČSN EN 206.³⁹

36 Ibidem, s. 36.

37 BREBERA, Antonín. Navrhování betonových staveb podle československé normy ČSN 1090-1931. In: *Zvláštní otisk z přílohy „BETON“ časopisu „ZPRÁVY VEŘEJNÉ SLUŽBY TECHNICKÉ“*. Praha. Nákladem vlastním. Tiskem Dr.Ed.Grégra a syna v Praze. 1932. 46 s.

38 Ibidem, s. 40.

39 ČSN 73 0038 Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – Doplnující ustanovení. Praha. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2014. s. 20. ICS 91.080.01

Beton				
druh	značka	třída	třída	Pevnostní třída
ČSN 1090:1931 ČSN 1230:1937	ČSN 73 2001:1956 ČSN 73 6206:1971	ČSN 73 1201:1967	ČSN 731201:1986	ČSN EN 206 ČSN EN 1992- 1-1
a	60	1		(C3/3,5)
b	80		B5	(C4/5)
c	105	0	B7,5	(C6/7,5)
d	135	I	B10	C8/10
			B12,5	(C9/12,5)
e	170			(C10/13,5)
			B15	C12/15
f	250	III	B20	C16/20
			B25	C20/25
g	330	IV		(C23/28)
			B30	C25/30
	400		B35	(C28/35)
				C30/37
		V	B40	(C30/40)
	500		B45	C35/45
		VI	B50	C40/50
	600		B55	C45/55
			B60	C50/60
Pevnostní třídy uvedené v závorkách nejsou v příslušené normě uvedeny.				

Tab. 9 Převod starších druhů, značek a tříd betonu na pevnostní třídy betonu uvedené v ČSN EN 206

Srovnáme-li uvedené hodnoty, snadno zjistíme, že použití betonů druhu f a g je z dnešního hlediska pro některé betonové konstrukce méně vhodné, pro náročnější železobetonové konstrukce pak zpravidla nevhodné. Stručně můžeme poznamenat, že obdobná situace nastává i při určování a posuzování betonářské výztuže.

Porovnání betonů a výztuží z 20. a 30. let 20. století se současnými materiály však není pouze otázkou hodnot pevností, modulů pružnosti a dalších vlastností. Je třeba si uvědomit, že tyto betony mají odlišnou strukturu – obvykle bylo použito těžené hrubé kamenivo s výrazně většími zrny, než v současnosti. Pokud bylo kamenivo vyskládáno tak, že tvoří

kostru betonu, pak to může mít pozitivní vliv. Většinou však velká a plochá zrna způsobují spíše problémy – pokud se mezi ně nedostal tmel, pak vznikají dutiny a mezery. Velkým problémem je kamenivo neprané, s vysokým obsahem hlinitých částic, neboť velká hladká zrna nepraného kameniva nemají dobrou soudržnost s tmelem. Kvalitě betonu z hlediska delšího časového horizontu napomáhala poměrně hrubé mletí tehdejšího cementu, což znamenalo, že pevnost betonu narůstala jen pozvolna a v průběhu i delšího časového období docházelo k dozrávání betonu a zlepšování pevnosti. Kvalita betonu však závisela na poměru mísení cementu s kamenivem – problematické jsou betony s množstvím cementu nižším než cca 260 kg na 1 m³ směsi.

Jiná byla rovněž výztuž. Téměř výhradní použití hladké výztuže s nižší mezí kluzu a vysokou tažností je pro konstrukce v podstatě příznivé, neboť v materiálu je skryta značná rezerva, umožňující výrazné přetváření konstrukčních prvků předtím, než došlo ke skutečnému kolapsu. Jinak řečeno, starší konstrukce dávají dostatečně dlouho dopředu vědět, že jsou přetíženy. Ve značných rozdílech mezi výpočtovými a skutečnými hodnotami meze kluzu a pevnosti v tahu oceli lze spatřovat důvod, proč většina konstrukcí z daného období ještě stojí a je schopna přenášet zatížení, ačkoliv nevyhoví výpočtu podle současných norem. Nelze na to však v žádném případě spoléhat a obcházet statický výpočet. Pokud však konstrukce nejeví známky poškození a přitom nevyhoví statickému výpočtu, pak existuje alternativní možnost posouzení mezních stavů pomocí zatěžovacích zkoušek.

Je tedy evidentně zřejmé, že problematika železobetonových konstrukcí, jejich vad a poruch a následná snaha o jejich opravu či obnovu či prodloužení životnosti je poměrně komplikovaná, pro laika často nezřetelná. Obecně lze říci, že životnost staveb lze prodloužit opravou nebo rekonstrukcí.⁴⁰

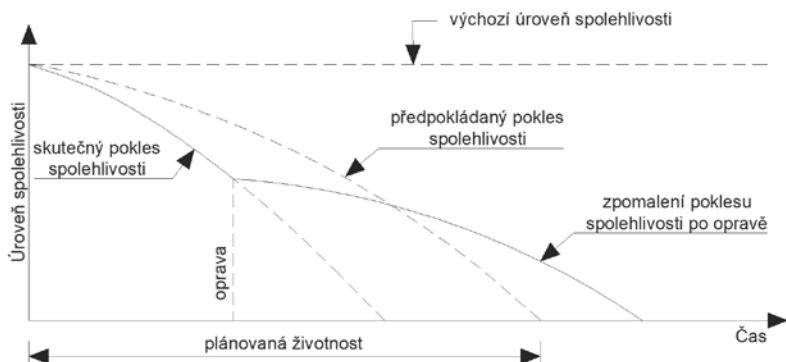
Konkrétně je však nutné se nad způsobem opravy i rekonstrukce detailně zamyslet. V případě, že je požadováno prodloužení životnosti stavby, ale i tehdy, když se očekává změna v účelu užívání stavby nebo je nezbytné ověření spolehlivosti objektu, je nutno přistoupit k vyhodnocení existujícího objektu a jeho konstrukcí. Stav konstrukcí je samozřejmě potřeba vyhodnotit i v případě degradace objektu (vlivem koroze, únavy materiálů, v případě poškození konstrukce např. požárem, výbuchem, při povodni, atd.). Teprve potom je možné stanovit, jak s daným objektem dále zacházet. Pokud je objekt památkově hodnotný (nemělo by přitom záležet na tom, zda je zapsán do seznamu kulturních památek či nikoliv, ale měla by být posuzována jeho skutečná památková hodnota), je nutno posuzovat dva aspekty: způsobilost konstrukce z technického neboli inženýrského hlediska a schopnost zachovat památkové hodnoty. Obě tato hlediska musejí být zvažována současně.

Ani jedno hledisko není však možno přeceňovat. Z pohledu památkové péče je nutno stavby opravovat či rekonstruovat citlivě, co nejvíce používat původní materiály a snažit se o maximální zachování charakteru a výrazu stavby. Velkou pozornost je nutno věnovat detailům – konstrukčním z hlediska jejich hodnoty dokumentující úroveň znalostí stavitele i pohledovým, které zejména při jednoduchém výrazu tehdejšího pojetí architektury mají svou nezaměnitelnou roli v konečném vyznění zásahu do stavby.

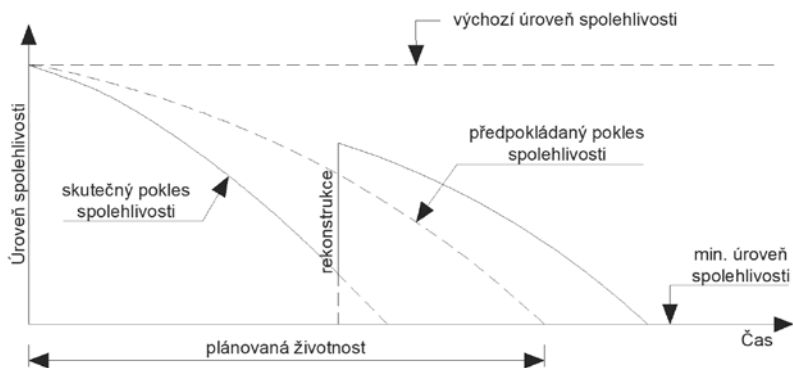
40 BILČÍK, Juraj a Jiří DOHNÁLEK. *Sanace betonových konstrukcí*. Bratislava: Jaga group, 2003. s. 22.

Hledisko technické a inženýrské zase garantuje bezpečnost konstrukce a možnost jejího využívání na další desetiletí.

Důležité tedy je, aby historické konstrukce hodnotili zkušení specialisté – inženýři, statici, architekti, památkáři, historici, atd., a to ve vzájemné spolupráci. Vždy by mělo dojít ke konsenzu zejména mezi statiky a památkáři, aby nebylo příliš upřednostněno technické hledisko na úkor ztráty integrity památky, na druhou stranu památkové hledisko na úkor bezpečnosti a funkční způsobilosti.



Obr. 19 Prodloužení životnosti opravou



Obr. 20 Prodloužení životnosti rekonstrukcí

Postup hodnocení byl podrobně popsán v kapitole *Průzkumy a zkoušky betonových konstrukcí*. Ještě jednou se ale vraťme k problematice betonů, ve kterých byl použit hlinitanový cement. Rovněž zde je při odhadu funkční způsobilosti konstrukcí nutno postupovat uvážlivě. Ne vždy je totiž prokázána přítomnost hlinitanových cementů zásadním

problémem. Mnohdy totiž uspokojovaly betony s použitým hlinitanovým cementem pouze momentální potřebu urychlení výstavby dílčí části stavby či byly použity na nevýznamné úpravy. To dokumentuje například průzkum objektu Právnické fakulty v Brně (architekt Alois Dryák, dokončeno 1932). Při lokální opravě inženýrských sítí byl v jedné části objektu prokázán při vizuální prohlídce v konstrukci hlinitanový cement. Při následně provedeném stavebně technickém průzkumu bylo ale zjištěno, že tento cement byl použit pouze na zhotovení konstrukce zdvojeného stropu, která neplnila žádnou statickou funkci. Na druhé straně ale tragická neštěstí nebo výše v textu uvedený příklad Baťova domu v Mariánských Lázních, který nebylo možno žádnými sanačními opatřeními zachránit, jsou výrazné varovnými signály.

Je tedy evidentní, že pro záchranu či prodloužení životnosti stavby musí být použit specifický přístup a vhodná kombinace průzkumných metod a ověřovacích zkoušek, která by na jedné straně finančně nezatížila investora a nepoškodila stavbu, ale na straně druhé naprosto bezpečně zhodnotila skutečný stav objektu a vyhodnotila neoptimálnější způsob obnovy ať už spočívající v opravě, nadstavbě, změně účelu využití či prosté rekonstrukci.

Nezkušný investor může povolit řadu zkoušek, které ale ne vždy odhalí skutečný stav objektu a podstatu problému. Doporučuje se proto provést průzkum konstrukce v rozsahu, který určí odborník z oboru zkušebnictví a zkušený statik, který bude pravděpodobně i následně projektovat potřebné opravy. Velký význam zde mají zejména nedestruktivní metody, které dokážou bez invazivního zásahu do konstrukce odhalit její slabá místa, kde lze následně provést doplňkové zkoušky na vývrtech. Z hlediska starých konstrukcí se jako nejvhodnější jeví metoda ultrazvuková, neboť je dostatečně citlivá zejména v oblastech nízkých pevnostních tříd betonu, je zcela nedestruktivní a s její pomocí dokážeme odhadnout vlastnosti betonu v celé síle konstrukce. Určení pevnosti v tlaku pouze z této metody však nemusí být zcela přesné, a proto je nutné výsledky upřesnit alespoň na minimálním počtu tří odebraných jádrových vývrtů. Pro minimalizaci zásahů do konstrukce je vhodné obvyklý průměr vývrtů 100 mm zmenšit, a to až na 50 mm.

Stavby z meziválečného období jsou velmi často cenným městotvorným prvkem, někdy těžko nahraditelnou nadčasovou dominantou. Vždy vypovídají o způsobu života tehdejších obyvatel Československé republiky, neboť byly a často ještě jsou sídlem významných správních, obchodních nebo výrobních institucí. Nebo reprezentantem sociálního bydlení, nových podnikatelských aktivit či oslavou úspěchů mladé republiky. Jsou dokladem nástupu architektury moderny, mnohdy dílem mladé generace architektů, která ale svým entuziasmem nakazila celou řadu pokračovatelů a svým pojetím ovlivnila architektonickou tvorbu na dlouhou dobu dopředu. Proto je potřeba se k nim chovat citlivě a po pečlivém průzkumu navrhnout optimální cestu k jejich záchraně.

Někdy bohužel záchrana byť významné či jedinečné konstrukce není možná – ať už z technických nebo ekonomických důvodů, viz uvedené příklady obchodního domu Baťa v Mariánských Lázních nebo bazénu v areálu zámku Napajedla. V tom případě je možno doporučit:

- provést detailní stavebně technický průzkum, který přesně popíše stav a detaily celé konstrukce;
- provést stavebně historický průzkum, který stavbu uvede do historického kontextu a popíše detaily či konstrukce významné z kulturně historického hlediska s důrazem na památkové hodnoty.

Průzkumy jsou potom trvalým dokladem již neexistujících staveb a možností poučení pro další stavebníky nebo badatele.

Pokud se po provedení průzkumu a zkoušek dospěje k závěru, že konstrukci lze sanovat:

- je třeba diskutovat o takovém pojetí statických opatření, která by nedegradovala původní vzhled staveb;
- je třeba volit materiály, které nezneškodí původní konstrukce;
- je třeba se ptát, které technické detaily mohou ustoupit sanačním opatřením;
- je nutno rozhodně zvažovat každý zásah do estetiky a původních výrazových detailů stavby.

Proto, jak již bylo zmíněno výše, musí být návrh opatření pro záchranu historicky hodnotných staveb dílem sehraného týmu zkušených odborníků.

Použitá literatura a zdroje

- BAŽANT, Zdeněk a Ladislav KLUSÁČEK. *Statika při rekonstrukcích objektů*. 6. vydání (upravené). Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 978-80-7204-912-7.
- BILČÍK, Juraj a Ján CESNAK. *Poruchy a rekonštrukcie nosných sústav: životnosť, poruchy a rekonštrukcie betónových a murovaných konštrukcií*. 3. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2004. Edícia skript. ISBN 80-227-2021-6.
- BILČÍK, Juraj a Jiří DOHNÁLEK. *Sanace betonových konstrukcí: životnost, poruchy a rekonštrukcie betónových a murovaných konštrukcií*. 3. vyd. Bratislava: Jaga group, 2003. Edícia skript. ISBN 80-889-0524-9.
- BREBERA, Antonín. Navrhování betonových staveb podle československé normy ČSN 1090-1931. *Zoláštní otisk z přílohy „Beton“ časopisu Zprávy veřejné služby technické*. Praha: Dr. Ed. Grégr, 1932.
- CIKRLÉ, Petr, Ondřej ANTON, Petr DANĚK, Barbara KUCHARCZYKOVÁ a Petr MISÁK. *NDT Zkoušení ve stavebnictví. Příručka kurzu ČŽV*. Brno: FAST VUT v Brně, 2010. ISBN 978-80-214-4198-9.
- CIKRLÉ, Petr. *Zpráva o diagnostice konstrukce bazénu na zámku v Napajedlech*. Centrum AdMaS, Výzkumná skupina KDS Profitcentrum SZK(12536). Brno: FAST VUT v Brně, 2018.
- CIKRLÉ, Petr. *Význam nedestruktivních diagnostických metod pro hodnocení železobetonových konstrukcí: Importance of non-destructive diagnostic methods for surveying steel-reinforced concrete structures : zkrácená verze habilitační práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIMUM, 2017. ISBN 978-80-214-5464-4.
- DOHNÁLEK, Jiří a Irena SEIDLEROVÁ. *Dějiny betonového stavitelství v českých zemích do konce 19. století: Importance of non-destructive diagnostic methods for surveying steel-reinforced concrete structures : zkrácená verze habilitační práce*. Praha: Historický ústav Československé akademie věd, 1991. ISBN 80-852-6808-6.
- DROCHYTKA, Rostislav a Irena SEIDLEROVÁ. *Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK III: Importance of non-destructive diagnostic methods for surveying steel-reinforced concrete structures : zkrácená verze habilitační práce*. [Brno]: Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, [2012?]. ISBN 978-80-260-2210-7.
- GERŠLOVÁ, Jana a Irena SEIDLEROVÁ. *Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK III: Importance of non-destructive diagnostic methods for surveying steel-reinforced concrete structures : zkrácená verze habilitační práce*. Praha: Národohospodářský ústav Josefa Hlávky, 2017. Studie (Národohospodářský ústav Josefa Hlávky). ISBN 978-80-88018-14-8.

- GOSS, Andrew. *Concrete Handbook for Artists : technical notes for small-scale objects*. 2. vydání. Owen Sound: Goss Design Studio, 2006. ISBN 0-9730223-0-2.
- HARVAN, Ivan a Irena SEIDLEROVÁ. *Předpětý beton: navrhovanie podľa spoločných európskych noriem*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2008. Edícia skrípt. ISBN ISBN978-80-227-2797-6.
- KLOKNER, František a Jaroslav FIDLER. *Vyztužený beton: jeho upotřebení a výpočty : hlavně k účelům pozemního stavitelství*. Praha: F. Klokner, 1909.
- KLOKNER, František a Konrád HRUBAN. *Železový beton*. 5. vyd. Praha: Česká matice technická, 1947. Technický průvodce.
- KRÍŽOVÁ, Katarína a Irena SEIDLEROVÁ. *Betonové konstrukce I: pro SPŠ a SOU stavební*. Praha: Sobotáles, 2010. Edícia skrípt. ISBN ISBN978-80-86817-39-2.
- *Příčiny vad a poruch betonových konstrukcí*. Sborník příspěvků. Brno: DT ČS VTS, 1986.
- ROVNANÍKOVÁ, Pavla, Patrik BAYER a Lubomír VÍTEK. Hlinitanový cement jako pojivo konstrukčního betonu – stav betonu z konstrukce mostu po padesáti letech. In: *BETON - technologie, konstrukce, sanace* [online]. 2007, 2007(3), 1-2 [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: http://www.betontks.cz/sites/default/files/2007-3-48_0.pdf
- SEIDLEROVÁ, Irena a Jiří DOHNÁLEK. *Dějiny betonového stavitelství*. Praha: Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, 1999. Betonové stavitelství. ISBN 80-863-6401-1.
- ŠMERDA, Zdeněk a Jiří DOHNÁLEK. *Životnost betonových staveb*. 3. vyd. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1999. Technická knihovnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-902-6978-8.
- Továrna na bauxitový cement Ladce, akc. spol., centrální kancelář: Bratislava, Gunduličova ul.8. Návod ku zpracování bauxitového cementu „Bauximent“.
- Továrna na portl. cement, Leo Czech a spol., vydáno v roce 1932 k 25. letému výročí existence.
- VÍTEK, Jan a Jiří DOHNÁLEK. *Historie předpjatého betonu*. Praha: ČKAIT, 2016. Betonové stavitelství. ISBN ISBN978-80-87438-84-8.
- VITRUVIUS POLLIO, Marcus. *Deset knih o architektuře*. 3. vyd. Praha: Arista, 2001. Antická knihovna. ISBN 80-86410-23-4.
- VLČEK, Milan a Jiří DOHNÁLEK. *Poruchy a rekonstrukce staveb*. 3. vyd. Brno: ERA, 2006. Technická knihovna (ERA). ISBN 80-736-6073-3.
- *Závěrečná zpráva o výsledcích dokončeného průzkumu rozsahu a stavu hlinitanových betonů v nosné konstrukci objektu MÚNZ, Brno, Veveří 125*. VUT v Brně, Fakulta stavební, katedra stavebnin a zkušebních metod, odpovědný řešitel Ing. Josef Rosa, CSc., vedoucí katedry doc. Ing. Vojtěch Mencl, CSc. Brno, srpen 1990

- ZPRÁVY VEŘEJNÉ SLUŽBY TECHNICKÉ. Úřední věstník, vydávaný ministerstvem veřejných prací za součinnosti ministerstva železnic a technických odborů ministerstev Československé republiky. Číslo 22, v Praze dne 15. listopadu 1931. Ročník XIII
- ČSN EN 13791 (731303) – Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích
- ČSN ISO 13822 (730038) – Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí
- ČSN EN 1990 ed. 2 (730002) – Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 206 +A1 (732403) – Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- ČSN EN 1504-1 (732101) – leden 2006 - Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody – Část 1: Definice
- ČSN EN 1504-2 (732101) – březen 2006 - Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody – Část 2: Systémy ochrany povrchu betonu
- ČSN EN 1504-4 (732101) – březen 2006 – Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody – Část 4: Konstrukční spojování
- ČSN EN 1504-5 (732101) – duben 2014 – Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody – Část 5: Injektáž betonu
- ČSN EN 1504-6 (732101) – květen 2007 – Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody – Část 6: Kotvení výztužných ocelových prutů
- ČSN EN 1504-7 (732101) – duben 2007 – Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody – Část 7: Ochrana výztuže proti korozi
- ČSN EN 1504-8 ed. 2 (732101) – listopad 2016 – Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Definice, požadavky, kontrola kvality a AVCP – Část 8: Kontrola kvality a posuzování a ověřování stálosti vlastností (AVCP)
- ČSN EN 1504-9 (732101) – říjen 2009 – Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody – Část 9: Obecné zásady pro používání výrobků a systémů
- ČSN EN 1504-10 (732101) – únor 2018 – Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody – Část 10: Použití výrobků a systémů a kontrola kvality provedení
- ČSN 73 2011 Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí
- ČSN EN 12504-1 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 1: Vývrty – Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku

Internetové stránky

- <https://alchetron.com/Joseph-Monier>
- https://en.wikipedia.org/wiki/François_Coignet
- https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph-Louis_Lambot
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Bernard_Forest_de_Bélicor
- <https://www.archiweb.cz/b/spravni-budova-batovych-zavodu>
- <https://www.archiweb.cz/b/vila-savoie>
- Nátěry na beton: typy, požadavky, normové parametry. In: *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2018 [cit. 2018-10-29]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/10916-natery-na-beton-typy-pozadavky-normove-parametry>
- Obnova bytových domov – chyby a poruchy obvodových konstrukcí. In: *ASB architektúra stavebníctvo biznis* [online]. Bratislava: JAGA GROUP, 2012 [cit. 2018-10-27]. Dostupné z: https://www.asb.sk/wp-content/uploads/images/fotogaleria/fotogalerie/sprava_budov/obnova_bytovych_domov_chyby_a_poruchy_obvodovych_konstrukcii_fotoalbum/obr6-big-image.jpg

Průzkumy a opravy železobetonových konstrukcí meziválečného období

Petr Cikrle, Vlasta Loutocká, Jitka Uchytílová

Metodický list vydal Národní památkový ústav,
Metodické centrum moderní architektury v Brně v roce 2018

1. vydání

Autoři textu: doc. Ing. Petr Cikrle, PhD., Ing. arch. Vlasta Loutocká, Bc. Jitka Uchytílová

Autoři fotografií a ilustrací: Národní památkový ústav a autoři textu

Odborný redaktor: Ing. arch. Vlasta Loutocká

Grafické zpracování a tisková příprava: EkoCentrum Brno

ISBN 978-80-7480-123-5



NÁRODNÍ
PAMÁTKOVÝ
ÚSTAV

METODICKÉ CENTRUM
MODERNÍ ARCHITEKTURY
V BRNĚ



ISBN 978-80-7480-123-5



9 788074 801235 >