

Životnost betonových konstrukci – karbonatace – koroze vyztuze – stavebni pruzkum – diagnosticka mēreni

Skutečná fyzická životnost betonové nebo zelezobetonové konstrukce závisí na mnoha faktorech a na jejich vzájemné kombinaci. Nejdůležitější faktory ovlivňující životnost konstrukce jsou povětrnostní vlivy (teplota, vítr, normální složky vzduchu, kontaminanty ve vzduchu, voda, radiace atd.), biologické vlivy, chemické a fyzikální vlivy provozu, rozptyl jakostí parametrů použitých výrobků a materiálů, nesprávný výrobní postup a použití konstrukci a výrobků v nevhodných podmínkách [1]. Životnost betonové konstrukce se běžně předpokládá asi 100 roků; pod vlivem všech nepříznivých změněných faktorů, které zvláště v našich podmínkách působí silně na betonové konstrukce lze předpokládat, že fyzická životnost betonových konstrukci se snižuje o 20 až 50% [2], [3]. To znamená, že velká část používaných betonových konstrukci je již narušena a majitel nebo investor stojí před problémem jejich sanace. Z vlastní zkušenosti mohou říci, že pro mnoho investorů sanace betonové konstrukce spočívá pouze v povrchové opravě nátěrem, nebo v lepším případě otryskání betonu až na vyztuž a následná úprava vyztuže a betonu. V prvním případě dojde snad pouze ke zpomalení koroze betonu a vyztuže, v druhém případě při celoplošném otryskání je oprava značně neekonomická a v mnoha případech zbytečná a při lokálním otryskání jde o opravu pouze částečnou, bez dlouhodobých účinků. Pro kvalitní provedení sanace betonové konstrukce, tzn. zajištění její další bezchybné dlouhodobé provozuschopnosti, co největší možné snížení nepříznivých vlivů na vlastní beton a vyztuž, optimální úprava pohledových částí konstrukce, a to vše při co nejmenších finančních nákladech, je nutné sanaci chápat jako uzavřený systém jednotlivých postupů. Jednotlivé a na sebe navazující postupy při takto chápané sanaci jsou:

1. *Vizuální prohlídka konstrukce*, zjištění míry povrchového poškození, určení možných škodlivých vlivů, působících na konstrukci, zajištění projektové dokumentace, pokud lze, a rozhodnutí o metodě stavebně technického průzkumu.
2. *Stavebně technický průzkum*, při kterém je s velkou pravděpodobností zjištěn stav betonu i vyztuže a určen faktor, způsobující největší poškození konstrukce. Návrh způsobu a rozsahu opravy, včetně návrhu vhodných sanačních materiálů.
3. *Provedení opravy vyztuže betonu a povrchových částí betonu* v rozsahu, který byl navržen na základě výsledků stavebně technického průzkumu.
4. *Stanovení četnosti pravidelných průzkumů konstrukce a jejich provádění*. Na základě provedených průzkumů určit dobu, kdy je potřeba přikročit k další sanaci. Periodické průzkumy jsou nezbytné i pro nově vybudované konstrukce.

System sanace uvedený v bodech 1 a 2 budeme nyní konkrétně aplikovat na běžné betonové nebo zelezobetonové konstrukce, jako jsou např. části mostních konstrukci, lávky, podchody, kolektory, opěrné zdi či drobné betonové a zelezobetonové části sídlištní architektury, které jsou vystaveny obvyklým klimatickým podmínkám.

Při vizuálním průzkumu lze většinou zjistit zvýšení pórovitosti betonu, šupinatění povrchu betonu, snížení pevnosti povrchových částí, drobné trhlinky a místní odpadávání povrchových vrstev, částečné pronikání rzi na povrch nebo již částečné odhalení vyztuže napadené korozi. Při takovémto poškození konstrukce lze

předpokládat, že ke korozi dochází hlavně vlivem CO₂, chloridů a dále sloučenin síry, dusíku, uhličitánů a jiných, zejména ionto-reaktivních látek, které mohou být obsaženy jak ve vzduchu, tak i ve vodě. V případě koroze povrchových vrstev betonu nejčastěji jde o karbonataci betonu, způsobenou difuzí CO₂. Karbonatace betonu v čase probíhá ve 4 etapách:

1. Reakce CO₂ s hydroxidem vápenatým a jeho změna na nerozpustný uhličitán vápenatý CaCO₃. V této etapě dochází k utěsnění pórů a kapilár, zvětšení hutnosti betonu, a tím k větší odolnosti proti agresivním vlivům prostředí,
2. Vznikají další jemnozrnné modifikace uhličitánu vápenatého CaCO₃.
3. Překrystalizování CaCO₃ na zrna kalcitu a aragonitu, která jsou asi 10× větší, a tím dochází k rychlému zhoršování mechanických vlastností betonu.
4. Úplná karbonatace, kdy velké krystaly aragonitu a kalcitu prostupují celou strukturou cementového kamene a beton je rozrušován velkými krystalizačními tlaky. Průvodním jevem karbonatace je snižování hodnot pH z 12,5 až na méně než 9, což značně přispívá ke korozi vyztuže. Výše popsany vzhled povrchových vrstev betonu odpovídá již druhé etapě karbonatace. Při desetiletém působení běžných klimatických vlivů postupuje karbonatace do hloubky asi 30 mm. K úplné korozi vyztuže většinou dochází již dříve než k úplné karbonataci betonu ve 4. etapě [1]. Koroze betonu je navíc značně urychlována látkami, které obsahují chloridy. Chloridové ionty, které reagují s aluminátovými složkami betonu, spolu s účinky mrazu představují akutní nebezpečí pro trvanlivost, pevnost a použitelnost konstrukce. Oproti dosavadním předpokladům není rozložení chloridových solí v betonu rovnoměrné, a při sanaci je nutné přesně stanovit nejvíce napadené oblasti [4], [5].

Koroze vyztuže snižuje soudržnost, nepříznivě působí na okolní beton a samozřejmě oslabuje vlastní průřez vyztuže. Při korozi vyztuže probíhá elektromechanická reakce v elektrolytickém prostředí vlhkého betonu. Na povrchu vyztuže vznikají místa s rozdílným potenciálem. Na anodě se z vyztuže odlučují ionty železa a přecházejí do elektrolytu. Z iontů Fe²⁺ a OH⁻ se v elektrolytu vytváří rez, která se ukládá na povrchu vyztuže. Dosahuje-li karbonatace betonu až k vyztuži, klesá v okolí vyztuže pH faktor, a tím se ruší jakákoliv alkalická ochrana vyztuže betonem [6]. Takto definovaná obvyklá koroze betonu a vyztuže klade na metody stavebního průzkumu následující požadavky.

Stavebním průzkumem se musí zjistit:

- *hloubka zkarbonatované vrstvy betonu*, určení oblasti konstrukce se stejnou hloubkou karbonatace, popř. u jednodušších konstrukci max. hloubka karbonatace v celé konstrukci,
- *hloubka uložení vyztuže* (tloušťka krycí betonové vrstvy vyztuže) včetně rozmístění vyztuže, určení oblastí, kde karbonatace dosáhla až k vyztuži,
- *míra koroze vyztuže*, včetně vyznačení oblastí, kde je vyztuž zkorodovaná do určité, předem stanovené míry, včetně oblastí s největším výskytem chloridových iontů.

Navíc musí být průzkumem zajištěno prověření konstrukce v celé ploše. Se závěry takto provedeného průzkumu již lze poměrně snadno navrhnout způsob sanace, a to např. odstranění degradovaného betonu buď lokálně nebo plošně podle míry zjištěné karbonatace a jeho nahrazení vhodným materiálem a nátěrem

nebo odhalení výztuže a její případné pasivace na základě určených oblastí nebo též celoplošně podle zjištěných výsledků stupně koroze výztuže. Problémem ale zůstává, jakým způsobem zajistit dosti značné požadavky, kladené na stavební průzkum při respektování nejnižší míry finančních nákladů.

Pro průzkum lze použít:

- **zatěžovací zkoušky:** jsou finančně i časově náročné a pro uvedený typ betonových konstrukcí nevhodné nebo těžko proveditelné;
- **destruktivní zkoušky na vzorcích odebraných z konstrukce:** lze získat pouze malou četnost vzorků, které nevypovídají o stavu celé konstrukce; není možné přesně lokalizovat oblasti výztuže napadené korozi;
- **zkoušky s použitím metody místního porušení:** v mnoha případech je nutné s provedením těchto zkoušek uvažovat již při vlastní stavbě, zabudováním potřebných segmentů; četnost zkoušek, pokud je lze provést, je stále nedostatečná; zkouškami se neřeší posouzení koroze výztuže;
- **nedestruktivní zkoušky:** zkouška fenolftaleinovým roztokem pro zjištění karbonatace betonu, tvrdoměrné metody zkoušení pro zjištění pevnosti povrchové vrstvy betonu, zkoušky založené na elektromagnetické indukci pro zjištění krycí betonové vrstvy výztuže, uložení výztuže a rozměrů výztuže, zkoušky založené na měření potenciálů pro stanovení stupně koroze výztuže a množství chloridových iontů v oblasti výztuže; zkoušky jsou finančně a časově nejméně náročné, lze je provádět v dostatečných četnostech, a proto lze získat velmi dobrou představu o stavu celé konstrukce, včetně lokalizace nejvíce napadených nebo ohrožených oblastí; neporušují konstrukci a jsou velmi vhodné i pro periodické prohlídky konstrukcí; pro účely sanace i periodických prohlídek jsou dostatečně přesné.

Z výše uvedených důvodů jsou nedestruktivní metody zkoušení pro potřeby sanace a periodických prohlídek nejvýhodnější a jsou proto využívány i *Institutem diagnostických měření ve stavebnictví (IDM) Karlovy Vary*.

Pro určení hloubky karbonatace používá IDM běžnou zkoušku fenolftaleinovým roztokem. Zkouška je účinná, rychlá, lze ji provést na libovolném množství zkušebních míst. Při zkoušce dochází pouze k malému porušení povrchu betonu.

Pro určení pevnosti betonu využíváme tvrdoměrné nedestruktivní metody, tzn. Schmidtova kladívka. Lze využít různých typů kladívek N, L, P a PT podle druhu konstrukce (lehký nebo obyčejný beton) a předpokládaných výsledných pevností. Zkouška se provádí po odstranění zkarbonatované vrstvy betonu, dochází tedy pouze k malému porušení povrchové vrstvy betonu. Nevýhodou je, že lze ve většině případů použít pouze **obecný kalibrační vztah**, a zkoušky jsou tak pouze s **nezaručenou přesností**. Na základě dlouhodobých zkušeností můžeme konstatovat, že odchylka od skutečných pevností může být až 25%; při aplikaci těchto výsledků se musí brát tato odchylka v úvahu. Pro sanace je však přesnost dostatečná. Zkoušku lze provádět na neomezeném množství zkušebních míst a je časově i finančně nenáročná.

Pro zkoušky založené na měření elektromagnetické indukce IDM využívá přístroj BETON-DECUMETER, který byl navržen firmou *Bauexpert Consulting, H. J. Badzong*, Curych a vyrobený firmou *Colebrand*, Londýn. Naměřená velikost elektromagnetické indukce, která je snímána sondou přikládánou na povrch betonu je automaticky převáděna na velikost krycí betonové vrstvy výztuže, která je zobrazena na displeji. Velikosti krycí vrstvy lze zaznamenat ručně nebo automaticky do paměti přístroje. Na přístroji lze nastavit kritickou hodnotu krycí vrstvy (např. velikost karbonatace) a přístroj sám zaznamenává všechny hodnoty pod touto kritickou hodnotou i s akustickým upozorněním. Automatický provoz přístroje lze velmi efektivně využít při rozsáhlých plošných průzkumech. S využitím distanční podložky lze stanovit průměr nalezené výztuže, a to v hodnotách 6, 8, 10, 12, 16, 18, 25, 32 a 40

mm. Přístroj je dostatečně přesný při využití malé sondy do hloubky asi 15 cm a při využití velké sondy do hloubky asi 30 cm. Tyto hloubky samozřejmě závisí i na průměru výztuže. Zaznamenané hodnoty v paměti přístroje je možné převést do počítače, kde jsou vyhodnoceny expertním systémem vyvinutým též firmou *Bauexpert-Consulting, H. J. Badzong*, Curych. Výsledky lze zpracovat do grafické podoby, kdy naměřené hodnoty jsou od sebe odlišeny různě sytou černobílou stupnicí. Přístroj je možné velmi dobře využít pro stavebně technické průzkumy železobetonových konstrukcí (rozměry a uložení výztuže, krycí betonová vrstva výztuže), zvláště tam, kde není možné získat projektovou dokumentaci. Samozřejmě je přístroj velmi vhodný pro určení oblastí v konstrukci, kde karbonatace betonu dosahuje až k výztuži a zároveň k určení rozmístění výztuže pro další nedestruktivní vyšetřování např. stupně koroze výztuže. Ideálně tak splňuje všechny podmínky, které jsme si stanovili pro průzkum konstrukcí před sanací.

Firma *Bauexpert-Consulting, H. J. Badzong*, vyvinula i přístroj Half-Cell-Unit pro měření odchylek potenciálů v oblasti výztuže. Přístroj měří potenciály v mV, které jsou zobrazovány na displeji, a zároveň je možné je ručně nebo automaticky uložit do paměti přístroje. Měření se provádí referenční elektrodou Cu/CuSO₄. Plocha betonu musí být dostatečně zvlhčena. Druhá elektroda přístroje musí být vodivě spojena s měřenou výztuží. Firma dlouhodobým výzkumem zjistila, že v oblastech, kde naměřené napětí je menší než 200 mV, s více než 90 %-ní pravděpodobností ke korozi výztuže nedochází. V oblastech, kde se naměřené napětí pohybuje nad hranicí 350 mV, s více než 95 %-ní pravděpodobností ke korozi dochází. V oblastech s hodnotami mezi 200 až 350 mV je koroze nejistá. Při velmi podrobném průzkumu je tedy nutné skutečný stav zjistit, a to nejlépe stanovením množství chloridových iontů v oblasti, v závislosti na vzdálenosti od povrchu konstrukce. Pro velmi přibližné stanovení koroze v nerozhodných oblastech, zvláště jsou-li tyto oblasti málo rozměrné, lze výztuž odkryt, a tím alespoň přibližně určit kalibrační vztah. Z uvedených možností přístroje vyplývá, že je velmi vhodný pro průzkum před sanačními pracemi, zvláště proto, že sanační práce mohou být cíleně zaměřeny, a tak pracovně i finančně značně efektivnější.

Všechny uvedené nedestruktivní metody je vhodné použít při periodických prohlídkách betonových a železobetonových konstrukcí, nejenom pro stanovení aktuálního stavu, ale i k prognózám, jak bude koroze betonu i výztuže v čase dále postupovat, a tím minimalizovat náklady na sanace a navrhnout nejvhodnější období pro další případnou sanaci konstrukce.

Literatura

- [1] **Dobry O., Palek L.:** *Koroze betonu ve stavební praxi*. SNTL, Praha 1988, s. 32–38, 45.
- [2] **Matějka Z.:** Životnost jako součást prognózy intenzivního využívání stavebních fondů. *Sborník diagnostika betonových konstrukcí II. celostátní konference*, Povážská Bystrica, 21. až 22. září 1978, s. 1–5.
- [3] **Vaněk T.:** *Rekonstrukce staveb*. SNTL, Praha 1989, s. 15–17.
- [4] **Badzong H. J.:** Verfahren zum Nachweis korrosionskritischer Chlorid-Gehalte. In: *Bautenschutz Bausanierung 2/90*, 3 s.
- [5] **Rovnaníková P.:** Průzkum mostních konstrukcí z hlediska působení chloridů. *Sborník diagnostika betonových konstrukcí II. celostátní konference*, Povážská Bystrica, 21. až 22. září 1978, s. 36–39.
- [6] **Pume D. a kol.:** *Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí*. ABF Praha 1993, str. 56–59.

Ing. Stanislav Vonka, Institut diagnostických měření ve stavebnictví s. r. o., K panelárně 172, 362 32 Otovice u Karlových Varů