

# HODNOTENIE A DIAGNOSTIKA BETÓNOVÝCH KONŠTRUKCIÍ ■ ASSESSMENT AND DIAGNOSTICS OF CONCRETE STRUCTURES

Juraj Bilčík, Vladimír Priechodský

Napriek intenzívnemu výskumu a vývoju v oblasti technológií, uspokojivá diagnóza aktuálneho stavu konštrukcie alebo prijateľná predpoveď jej životnosti stále nie sú samozrejmosťou. Na stanovenie aktuálneho stavu existujúcich stavieb sa používajú deštruktívne, polodeštruktívne a nedeštruktívne skúšobné metódy. V príspevku sa uvádzajú vybrané metódy skúšania betónu na stanovenie vlastností betónu a stavu konštrukcie. ■ *Despite of intensive research and development on technologies, a satisfactory diagnosis of the real degree of health or an accurate prediction of service life is still not obvious. In order to properly assess the present degree of health destructive, semi-destructive and non-destructive testing methods are being used. The paper introduces selected test methods for the determination of concrete properties and state of the structure.*

Väčšina stavieb postavených v období povojnovej industrializácie Slovenska alebo hromadnej panelovej výstavby v Československu sa dostala do veku, keď dosahujú alebo prekračujú návrhovú životnosť (obr. 1).

Táto skutočnosť, spolu so zanedbaním údržby, najprv v dôsledku nedostatku stavebných kapacít, neskoršie financií na opravy a rekonštrukcie, sa výrazne prejavuje na ich technickom stave. Navyše v nevyhovujúcom stave sa nachádzajú aj stavby, ktoré vznikli podstatne neskôr, dokonca aj tie, ktoré boli postavené v posledných rokoch... Uvedené stavby evidentne vyžadujú opravu, resp. rekonštrukciu. Úspešnosť týchto zásahov je podmienená aj zhodnotením aktuálneho stavu nosnej konštrukcie. Stanovenie zásad hodnotenia existujúcich konštrukcií je nevyhnutné, pretože vychádza z odlišnej koncepcie, ako je navrhovanie nových konštrukcií a vyžaduje znalosti prekračujúce rozsah návrhových noriem. Problematikou hodnotenia existujúcich konštrukcií sa zaoberá ČSN (STN) ISO 13822 [1], ktorá v celom rozsahu nahradila zrušenú ČSN (STN) 73 0038 [2]. Táto norma poskytuje všeobecné požiadavky a postupy hodnotenia existujúcich konštrukcií, ktoré vychádzajú zo zásad spoľahlivosti konštrukcií a následkov ich porúch [3].

## CIELE A POSTUP HODNOTENIA EXISTUJÚCICH KONŠTRUKCIÍ

Ciele hodnotenia existujúcej konštrukcie sa stanovujú na základe konzultácií medzi objednávatelom a zhotoviteľom. Najčastejšie sa jedná o tieto ciele:

- overenie uskutočniteľnosti prestavby alebo možnosti predĺženia životnosti stavby,
- overenie spoľahlivosti na priame a nepriame zaťaženia (napr. na seizmické účinky, mimoriadne zaťaženia) požadované štátnym orgánom, poisťovňou, vlastníkom atď.,
- zistenie stupňa a rozsahu porušenia konštrukcie v dôsledku pôsobenia časovo závislého zaťaženia (napr. korózia, únavy) alebo mimoriadneho zaťaženia.

Vzhľadom na rôznorodosť cieľov hodnotenia, konštrukčných systémov, technológií a materiálov neexistuje podrobný návod na hodnotenie existujúcich stavieb. Všeobecný vývojový diagram postupu hodnotenia existujúcich konštrukcií je zobrazený na obr. 2. Hodnotenie sa začína štúdiom dokumentácie a prehliadkou stavby. V prípade, že sú nejasnosti o účin-

koch zaťaženia, vlastnostiach konštrukcie alebo materiálov, nasleduje podrobné hodnotenie. Inžiniersky úsudok, praktické skúsenosti a konzultácie s vlastníkom o obsahu a rozsahu výstupov sú predpokladom pre dosiahnutie cieľov hodnotenia.

Navrhovanie betónových stavieb sa sústreďuje predovšetkým na účinky priameho zaťaženia na bezpečnosť a použiteľnosť konštrukcií. V posledných rokoch sa zohľadňujú aj účinky nepriameho, mimoriadneho a environmentálneho zaťaženia. Dlhodobý účinok environmentálneho zaťaženia (fyzikálne, chemické a biologické účinky prostredia) spôsobuje degradáciu betónu a výstuže. Hodnotenie z hľadiska medzných stavov trvanlivosti podľa ISO 13823 [4] vyžaduje realistické a dostatočne presne definované environmentálne zaťaženia, materiálové vlastnosti a degradačné modely. Takýto komplexný prístup k hodnoteniu konštrukcií je vhodný na významné stavby infraštruktúry a stavby s veľkým ohrozením života alebo životného prostredia (trieda spoľahlivosti RC3). Pri statickej analýze (overenie odolnosti) sa použije aktuálny stav konštrukcie a vlastností nosných materiálov. Za týmto účelom sa robí v požadovanom rozsahu diagnostika.

## DIAGNOSTIKA VLASTNOSTÍ MATERIÁLOV A STAVU KONŠTRUKCIE

Diagnostika je súbor činností robených za účelom spresnenia a rozšírenia informácií získaných z dokumentácie a prehliadky stavby. Služi na overenie vlastností materiálov, identifikovanie, klasifikovanie a kvantifikovanie chýb a porúch. Dôležité je nielen komplexné zmapovanie porúch, ale aj predpoveď ich vývoja v čase [5]. Diagnostické metódy používané na prieskum betónových konštrukcií možno rozdeliť do týchto hlavných skupín:

- vizuálne metódy,
- skúšobné metódy na stanovenie fyzikálnych vlastností betónu a ocele,
- skúšobné metódy na určenie stupňa korózneho narušenia betónu a ocele,
- skúšobné metódy na identifikáciu výstuže (polohy, priemeru a krytia),
- skúšky integrity konštrukcie – zaťažovacie skúšky konštrukcie, resp. metódy registrujúce okamžitú alebo dlhodobú odozvu konštrukcie na vyvolané statické alebo dynamické zaťaženie.

V ďalšom texte sa uvádzajú stručné informácie o vybraných skúšobných metódach. Komplexnejšie údaje o skúšobných metódach na diagnostikovanie betónových konštrukcií je možné získať z literatúry [6], [7], [8].

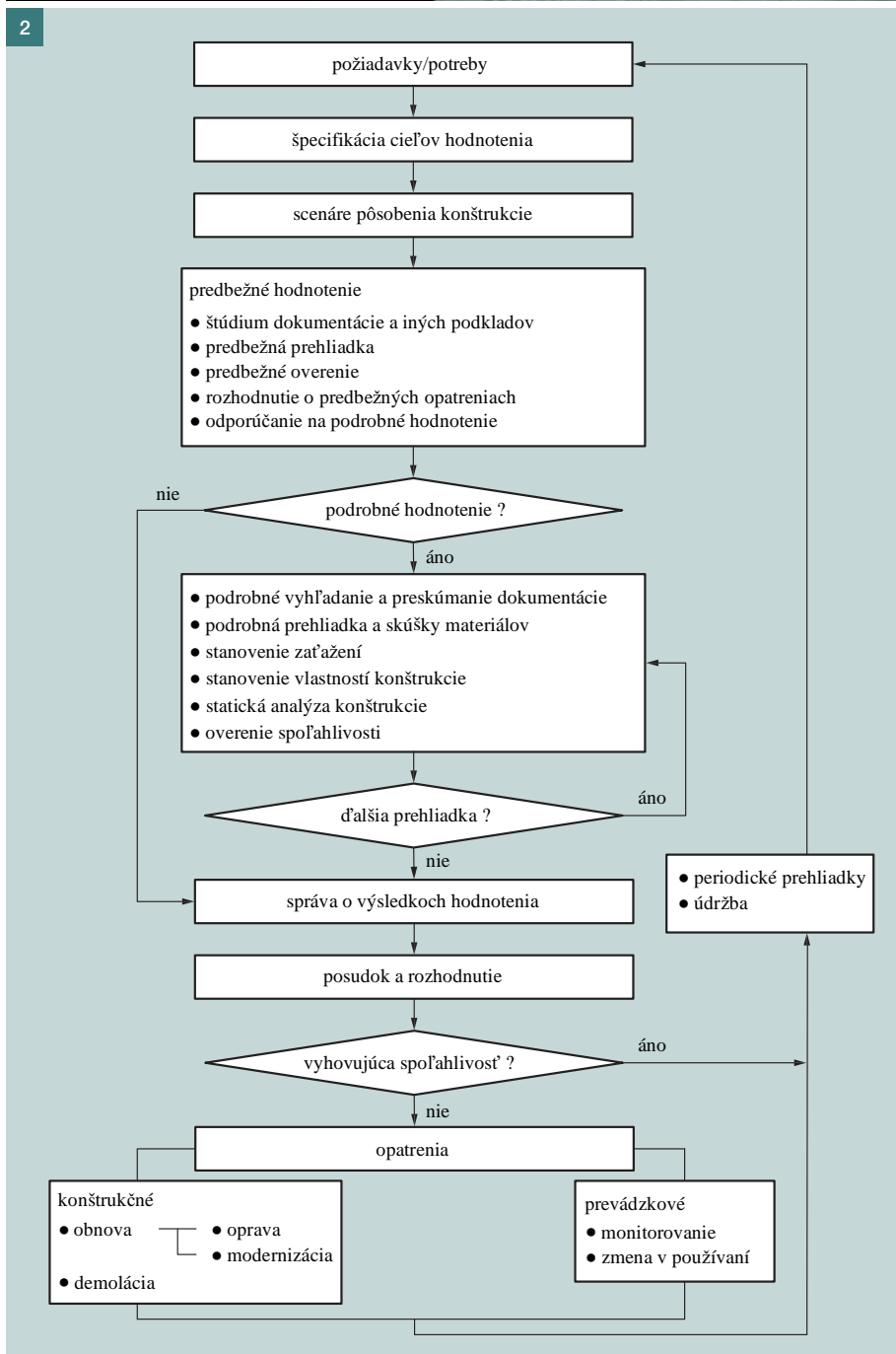
## Vizuálna prehliadka

Základnou a najdôležitejšou časťou diagnostiky je vizuálna prehliadka posudzovanej stavby, ktorá umožňuje kontrolu geometrického tvaru a rozmerov nosných prvkov, zistenie a lokalizovanie porúch, ktoré vznikajú alebo sa prejavujú na povrchu konštrukcie. Kvalita vizuálnej prehliadky je významne ovplyvnená prístupom ku konštrukcii a skúsenosťami pracovníka. Vizuálna prehliadka je neodmysliteľnou úvodnou časťou každého prieskumu, málo sa však využíva ako



Obr. 1 Prvá panelová budova v Československu stojí v Bratislave (1956) ■  
 Fig. 1 The first large panel system building in Czechoslovakia was built in Bratislava (1956)

Obr. 2 Vývojový diagram postupu hodnotenia existujúcich konštrukcií [1] ■  
 Fig. 2 Flowchart of the assessment process of existing structures [1]



samostatná prevencia, ktorá môže bez väčších nákladov včas odhaliť poruchy v tom najranejšom štádiu.

### Rozdelenie skúšobných metód

Na diagnostiku vlastností a stavu materiálov sa používajú priame (deštruktívne) alebo nepriame (polodeštruktívne a nedeštruktívne) skúšobné metódy. Aby sa dal správne vyhodnotiť aktuálny stav konštrukcie, vlastnosti alebo degradácia nosných materiálov, treba poznať možnosti jednotlivých skúšobných metód.

**Polodeštruktívne metódy** sú vhodné na stanovenie hĺbky prenikania agresívnych látok do betónu, napr. použitím malých jadrových vývrtov alebo vrtníka, ktoré výraznejšie neporušuje nosnú konštrukciu.

**Nedeštruktívne metódy** sa osvedčujú napr. na zisťovanie údajov o konštrukcii (polohy výstuže alebo hrúbky betónovej krycej vrstvy, prípadne zisťovanie dutín v betóne apod.) [9]. Nedeštruktívne metódy umožňujú stanovenie hľadanej vlastnosti bez poškodenia stavebného materiálu alebo nosného prvku. Ich prednosťou je, že umožňujú opakované merania na rovnakom mieste, a tým registráciu zmien v čase a štatistické vyhodnotenie. Zásadný nedostatok nedeštruktívnych metód je, že sa meria pomocná charakteristika, ktorá je s požadovanou charakteristikou v určitej závislosti. Preto je presnosť nedeštruktívnych skúšok obmedzená. Na druhej strane treba objektívne konštatovať, že v posledných rokoch boli najväčšie pokroky dosiahnuté práve v oblasti nedeštruktívnych metód. Rozsah príspevku neumožňuje podrobnejšie informovať o týchto metódach skúšania. Stav poznania a očakávaný vývoj v oblasti nedeštruktívnych metód skúšania poskytuje napríklad literatúra [10], [11] (nebo čl. str. 44, pozn. redakcie).

K uplatneniu **deštruktívnych metód** dochádza vtedy, ak použitie nepriamych metód nevedie k požadovanému cieľu, alebo sa žiada presnejšie stanovenie vyšetřovaných charakteristík. Často je účelná kombinácia deštruktívnych a nedeštruktívnych metód. Pomocou deštruktívnej metódy sa mô-

Tab. 1 Prehľad skúšobných metód na vyšetrovanie betónu v betónových konštrukciách [6] ■  
 Tab. 1 Overview of test methods for investigation of concrete in concrete structures [6]

Sledovaná hodnota	Spôsob vyšetrovania		
	Nedeštruktívny	Polodeštruktívny alebo deštruktívny	
	Skúšobná metóda	Skúšobná metóda	Zásah do konštrukcie
Pevnosť	Tvrdomerná Ultrazvuk	Pevnosť v tlaku Pevnosť v ťahu Pevnosť v priečnom ťahu Pevnosť v ťahu za ohybu	Jadrový vývrt
		Vylamovacia Vyťahovacia Odrhovacia	Poškodenie povrchu
Modul pružnosti (MP)	Ultrazvuk (dynamický MP)	Skúška v tlaku (statický MP)	Jadrový vývrt
Štruktúra: chybné miesta pórovitosť hutnosť nasiakavosť plynopriepustnosť rozptýlenie vlákien	Vizuálna obhliadka Mobilný mikroskop Akustická emisia Poklep (akustické trasovanie) Ultrazvuk Skúška plynopriepustnosti Magnetická indukcia (oceľové vlákna)	Kapilárna nasiakavosť Hutnosť Výbrus (mikroskop) Posúdenie výlomkov Skúška vodonepriepustnosti Skúška plynopriepustnosti	Jadrový vývrt Vrtanie
Dutiny	Ultrazvuk Akustická emisia Termografia Akustické trasovanie	Vymeranie	Odstránenie betónu
Vlhkosť	Meranie odporu Meranie vodivosti Mikrovlny Dielektrická konštanta Infračervená termografia	Gravimetria Rozptyl neutróvov	Jadrový vývrt Odber zlomkov Navrtanie
Trhliny: poloha šírka zmeny šírky hlbka	Obhliadka Trhlinový mikroskop Ultrazvuk Akustická emisia Sadrová značka Deformeter	Zaznamenanie rozvoja trhlín	Jadrový vývrt Odstránenie betónu
Karbonatácia	---	Nástrek indikátora Stanovenie pH roztoku	Jadrový vývrt Odber výlomkov Odber prachu z vrtania
Obsah chloridov	---	Chemická analýza Flourescenčná rtg. analýza Nástrek indikátora	Jadrový vývrt Odber výlomkov Odber prachu z vrtania
Teplota	Teploměr vo vyvrtanej diere	Termočlánok	
Chemické a fázové zloženie	---	Chemická analýza RTG difrakčná analýza Komplexná termická analýza	Odber vzorky

Tab. 2 Prehľad skúšobných metód na vyšetrovanie betonárskej výstuže v konštrukciách [6] ■  
 Tab. 2 Overview of test methods for investigation of reinforcement in concrete structures [6]

Sledovaná hodnota	Spôsob vyšetrovania		
	Nedeštruktívny	Polodeštruktívny alebo deštruktívny	
	Skúšobná metóda	Skúšobná metóda	Zásah do konštrukcie
Mechanické charakteristiky: pevnosť v ťahu ťažnosť lámavosť únarová pevnosť zloženie	---	Ťahová skúška Skúška ohybom Únavová skúška Chemická analýza	Odber vzorky
Vodíková krehkosť	---	Chemická analýza Ťahová skúška	Odber vzorky
Trhliny	Ultrazvuk Akustická emisia	Ťahová skúška Výbrus (mikroskop)	Odber vzorky
Korózia	Elektrodový potenciál Akustická emisia	Endoskop Vizuálna obhliadka	Navrtanie Obnaženie výstuže
Poloha Priemer Krytie Štáv	Elektromagnetická skúška Akustická emisia Termografia Radiografia Röntgenografia	Priame meranie	Navrtanie Obnaženie výstuže
Súdržnosť výstuže vysoko nad debnením	Poklep (akustické trasovanie)	Odmeranie	Jadrový vývrt Obnaženie výstuže Navrtanie

žu spresniť všeobecné kalibračné vzťahy nedeštruktívnych metód. Odoberanie vzoriek a skúšobné metódy nesmú výraznejšie znížiť spoľahlivosť konštrukcie a musia byť v súlade s príslušnými normovými (technickými) dokumentmi. Oprava pri odbere vzoriek porušených prvkov sa urobí okamžite po odbere.

Prehľad o skúšobných metódach na vyšetrovanie betónu, betonárskej a predpínacej výstuže v betónových konštrukciách poskytujú tab. 1, 2 a 3.

### Stanovenie pevnosti betónu

Stanovením pevnosti betónu na hotovej konštrukcii (monolit alebo prefabrikát) sa zaoberá ČSN (STN) EN 13791 [13]. Táto norma uvádza spôsoby zisťovania pevnosti betónu a jeho zatriedenie do pevnostnej triedy v zmysle ČSN (STN) EN 206-1 [14]. Norma vychádza z predpokladu, že výsledky skúšok pevnosti betónu na odobratých vzorkách (vývrtoch) sú objektívne (referenčné). Nepriame skúšky, realizované pomocou tvrdomeru, ultrazvuku alebo vytrhávania oceľových trňov, poskytujú alternatívy k skúškam na vzorkách, alebo môžu slúžiť na doplnenie údajov z limitovaného počtu jadrových vývrtov.

Skúšaním betónu v konštrukciách sa zaoberá aj súbor EN noriem rady 12504, ktoré v štyroch častiach rozoberajú metodiku:

- skúšok pevnosti betónu v tlaku na vývrtoch [15],
- rovnorodosti betónu skúškou tvrdosti odrazovými tvrdomermi [16],
- pevnosti povrchových vrstiev odtrhovou skúškou [17],
- rovnorodosti betónu na základe merania rýchlosti ultrazvukového impulzu [18].

Pri pridávaní nových materiálov na povrch existujúcich konštrukcií (reprofilované malty, nátery, lamely, tkaniny apod.) treba kontrolovať aj kvalitu betónového podkladu, resp. prídržnosť pridaných materiálov k betónovému povrchu. Pevnosť v ťahu povrchových vrstiev betónu, resp. prídržnosť pridaných materiálov k podkladu sa stanovuje odtrhovou skúškou podľa ČSN (STN) EN 1542 [19].

### Stanovenie dynamického modulu pružnosti betónu

Modul pružnosti patrí k základným charakteristikám betónu. Výrazne ovplyvňuje deformačné vlastnosti betónu a teda aj deformácie betónových konštrukcií. Okrem statického modulu pružnosti, ktorý sa určuje na základe skúškami zis-



Tab. 3 Metódy na vyšetovanie dodatočne predpätej výstuže [12] ■ Tab. 3 Methods for investigation of post-tensioned reinforcement [12]

Metóda	Deštruktívna		Nedeštruktívna					
	Odkryt kotvenie	Navŕtať + endoskop	Ultrazvuk		Prežarovanie		Elektromagnetické vlny	
			Reflexia	Prezvučenie	Gama žiarič	Lineárny urýchľovač	Radar	Infra-červené
Používateľnosť	+	+	-	-	+	+	+	+
Výpovedná hodnota	⊗	☺	☹	☹	☺	☺	?	?
Spôľahlivosť	☺	☺	☹	☹	☺	☺	?	?
Náklady	☹	☺	☺	☺	☺	☹	☺	⊗
Prácnosť	☹	☺	☹	☹	☺	☹	☺	⊗

**Legenda:****Možnosť použitia:**

+ pre všetky typy predpätia  
- pre predpinacie káble

**Výpovedná hodnota, resp. spoľahlivosť:**

☺ dobrá ☹ priemerná ⊗ nízka

**Náklady, resp. prácnosť:**

☺ malé ☹ priemerné ⊗ vysoké

tených napätí a pretvorení vzorky [20] (viz čl. str. 74, pozn. redakce), sa používa aj dynamický modul pružnosti. Ten sa stanovuje najčastejšie rezonančnými a ultrazvukovými metódami.

Dynamický modul pružnosti zodpovedá približne začiatočnému dotyčnicovému modulu pružnosti pri statickom stanovení, a je teda vyšší ako sečnicový modul pružnosti (približne o 10 až 40 %), ktorý sa určuje pri skúšaní vzoriek pod tlakovým napätím. V odbornej literatúre možno nájsť viaceré empirické vzťahy medzi oboma modulmi pružnosti [21]. Tie však nie sú univerzálne, platia iba pre posudzovaný betón. Prednosťou dynamického modulu pružnosti je rýchlosť a jednoduchosť stanovenia. Nevýhodou je nižšia presnosť a spoľahlivosť nameraných hodnôt.

**Meranie vlhkosti betónu**

Vlhkosť zohráva významnú úlohu pri fyzikálnych, chemických, elektrochemických a biologických mechanizmoch porušovania betónu, korózii výstuže a možnosti aplikácie sanačných materiálov. Vlhkosť betónu môže byť meraná na základe rôznych fyzikálnych princípov. Najpresnejšie je gravimetrické stanovenie vlhkosti betónu, pri ktorom sa polodeštruktívne odoberú vzorky povrchových vrstiev, nepriepustne uzavreté sa transportujú do laboratória, kde sa vzorky zväžia s presnosťou na 0,01 g. Následne sa vysušia pri teplote +105 °C do ustálenej hmotnosti. Zo zistených rozdielov hmotností sa vypočíta vlhkosť betónu. Metódu možno modifikovať tak, že odobrané vzorky sa pomocou digitálnych váh zväžia priamo v teréne. Princíp gravimetrickej metódy je opísaný v ČSN (STN) 73 1316 [22]. Pre rýchle a orientačné meranie vlhkosti je možné použiť aj prístroje merajúce vlhkosť betónu priamo na konštrukcii. Patrí sem napr. prístroj, ktorý pracuje na princípe nedeštruktívneho merania impedancie. Pri meraní sú do betónu vysielané nízkofrekvenčné signály, pričom sa merajú zmeny impedancie vyvolané vlhkosťou betónu. Prístroj je kalibrovaný pre vlhkosť betónu v rozpätí od 0 do 6 % [23].

**Vyšetovanie trhlín**

Rozvoj trhlín sa môže sledovať prostým okom, lupou, mikroskopom alebo videotechnikou. Zvlhčenie povrchu betónu vodou a jeho sušenie uľahčujú sledovanie trhlín v betóne. Okrem opisu rozvoja, resp. obrazu trhlín a dĺžky trhlín, je dôležité zaznamenať aj ich šírku a hĺbku.

Šírka trhlín na konštrukcii sa zisťuje príložným šírkomerom alebo mikroskopom. Zmenu šírky trhlín je možné registrovať napr. pomocou príložného deformetra s presnosťou 0,001 mm. Pre meranie krátkodobých zmien širok trhlín možno použiť indukčný snímač dĺžok.

Na zistenie hĺbky trhliny je vhodný ultrazvuk alebo jadrové

vývrty priemeru 50 mm. Trhlinka v oblasti vývrty sa vopred zainjektuje epoxidovou živcou, aby pri vŕtaní a odoberaní vývrty nedošlo k zmene šírky a hĺbky trhliny.

Ďalšie dôležité údaje pre analýzu príčin vzniku a sanáciu trhlín môžu byť: čas vzniku trhliny a informácia, či je trhlinka suchá alebo vlhká, resp. aktívna alebo pasívna [24]. (podrobne v článku na str. 38, pozn. redakce)

**Stanovenie hĺbky karbonatácie betónu a podmienok pre koróziu výstuže**

Karbonatácia betónu je spojená s poklesom pH na hodnotu menšiu ako 9, pri ktorej sa stráca stabilita pasivujúceho povlaku na výstuži a v prítomnosti vlhkosti sú vytvorené podmienky pre jej koróziu. Postup karbonatácie betónu, resp. pokles hodnoty pH sa môže stanoviť:

- potenciometricky meraním pH-metrom,
- acidobázickými indikátormi.

Na meranie pH-metrom je vhodné použiť jadrový vývrt s priemerom 30 až 50 mm. Pričným rezaním valca sa získajú vzorky betónu s rozdielnou vzdialenosťou od povrchu. Po homogenizácii (drvenie a mletie) sa navážka zmieša s destilovanou vodou a suspenzia sa niekoľko hodín dôkladne mieša. Po sedimentácii sa pH-metrom meria hodnota pH roztoku.

Operatívne sa hodnoty pH zisťujú acidobázickými indikátormi, ktoré menia sfarbenie v závislosti od pH prostredia. Najčastejšie sa používa roztok fenolfthaleínu, ktorým sa postrieka čerstvá lomová plocha [25]. Sfarbenie betónu umožňuje zistiť oblasti betónu, ktoré majú vyššiu hodnotu pH ako 9. Oblasť farebného prechodu z bezfarebnej na purpurovo červenú sa zmeria a zaznamená do 30 s od postriekania.

Hrúbka betónovej krycej vrstvy sa môže zistiť elektromagnetickými indikátormi výstuže. Ak sa porovná hĺbka karbonatácie s hrúbkou betónovej krycej vrstvy, je možné väčším počtom meraní pomocou metód matematickej štatistiky predpovedať pravdepodobnosť korózie výstuže. Overenie výsledkov možno urobiť lokálnym obnažením výstuže.

**Stanovenie obsahu chloridov**

Chloridové ióny sú iniciátorom a akceleratorom korózie ocelevej výstuže v betóne, a preto je ich koncentrácia v krycej vrstve dôležitý parameter odolnosti a životnosti betónových konštrukcií.

STN EN 14629 [26] uvádza dve metódy na stanovenie celkového obsahu (voľné + viazané) v kyseline rozpustných chloridov v zatvrdnutom betóne. Táto informácia je určená na odhad rizika korózie ocelevej výstuže spôsobenej chloridmi. Pre obe metódy sa môže použiť prach zachytený pri

vrtaní alebo iné vhodné laboratórne vzorky, ktoré sa podrobia chemickej analýze. Referenčnými metódami chemickej analýzy betónu na stanovenie obsahu chloridov sú Volhardova metóda alebo potenciometrická titrácia.

Alternatívne možno stanoviť obsah chloridov v betóne (komerčne dodávanou) súpravou Rapid Chloride Test [27]. Práškové vzorky sa získajú vrtaním alebo mletím zatvrdnutého betónu. Vzorka sa zmieša s primeraným množstvom extrakčnej kvapaliny a trepe päť minút. Pomocou kalibrovanej elektródy ponorenej do roztoku sa stanoví množstvo chloridových iónov v percentách hmotnosti betónu.

### VYHODNOTENIE EFEKTÍVNOTI DIAGNOSTICKÝCH METÓD

Pri diagnostike vlastností stavebných materiálov nie je podstatný fyzikálny princíp používanej metódy, ale jej celková efektívnosť daná tromi kritériami: presnosť, rýchlosť a cena.

**Presnosť metódy** je pre výsledok diagnózy často rozhodujúca. To sa týka najmä nepriamych metód, ktoré k interpretácii merania potrebujú kalibračný vzťah. Používanie týchto metód bez spresnených kalibračných vzťahov môže spôsobiť chyby. Preto by mal užívateľ poznať štatistické tolerančné medze kalibračného vzťahu, jeho smerodajnú odchýlku, prípadne ďalšie parametre. Používanie všeobecných vzťahov by malo byť iba dočasné, resp. výnimočné, aby sa vždy vedelo, s akou presnosťou sa hľadaný parameter určuje.

**Rýchlosť stanovenia** má z praktického hľadiska nie menej zásadný význam. Úžitkovú hodnotu prieskumu spoluvytvára práve rýchlosť urobenia a vyvodenia záverov. Preto sa často uprednostňujú aj menej presné metódy, ktoré však operatívne poskytujú výsledky (tvrdomerne skúšky, kolorimetrické určovanie pH betónu apod.).

**Cena merania** má veľký význam najmä pri výberových konaniach, kde je často jediným kritériom.

### VYŠETROVANIE DYNAMICKEJ ODOZVY STAVEBNEJ KONŠTRUKCIE

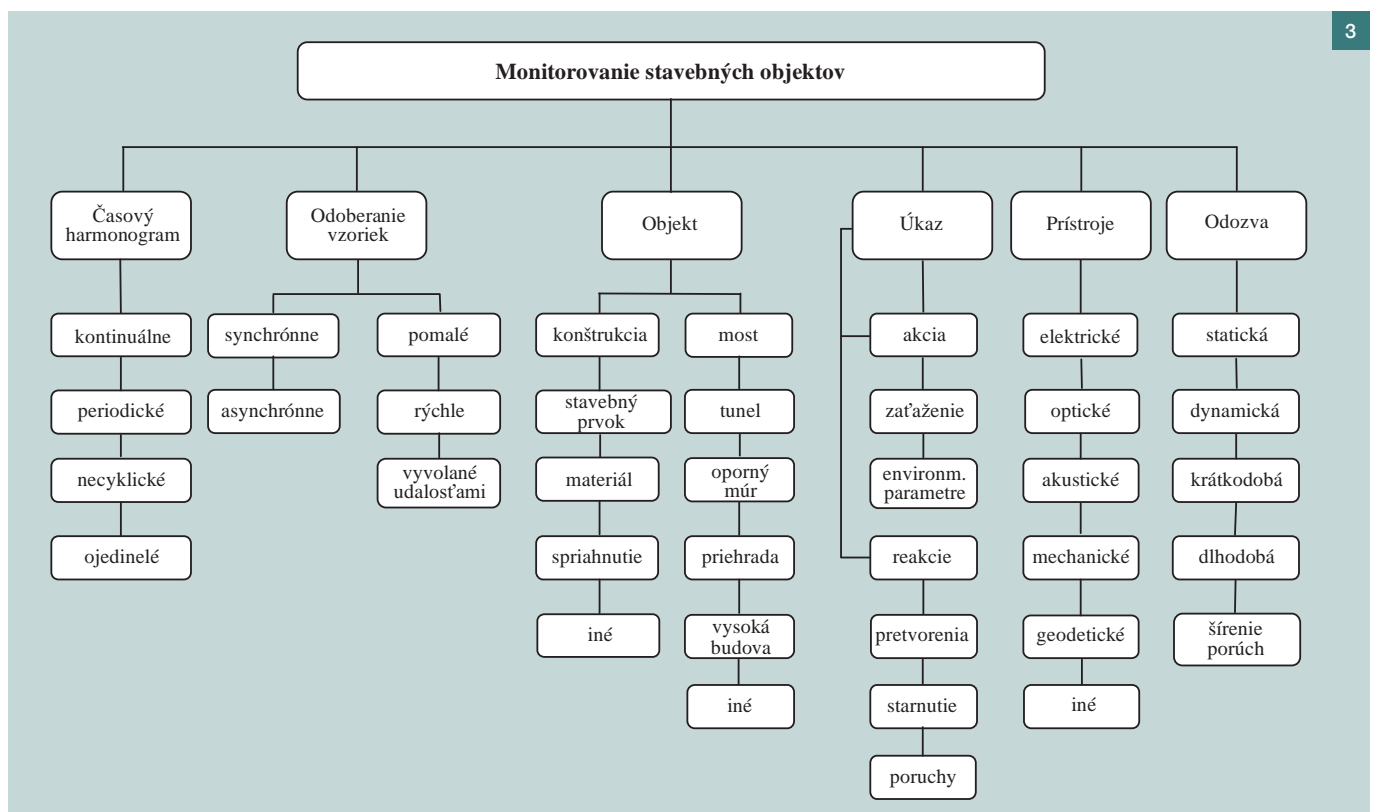
V období všeobecného znižovania nákladov predstavuje skúšanie konštrukcií nedeštruktívnou skúškou založenou na snímaní a vyhodnocovaní dynamických charakteristík konštrukcie (globálna diagnostika) novú alternatívu. Podnetom na rozkmitanie konštrukcie môže byť dopravné zaťaženie (mosty), vplyvy prostredia (vietor, seizmicita) alebo externý budič kmitania. Stav nosnej konštrukcie a jeho prípadné zmeny sa prejavujú v jeho dynamickej charakteristike (dynamickej odozve) – to znamená v relevantných dynamických parametroch (vlastná frekvencia, tvar a intenzita kmitania, vývoj dynamickej tuhosti apod.). Nedeštruktívnym meraním dynamickeho chovania je možné identifikovať poruchy nosnej konštrukcie a vyhodnotiť ich účinok na odolnosť konštrukcie [28], [29].

### MONITOROVANIE STAVEBNÝCH OBJEKTOV

Monitorovanie je časté alebo súvislé pozorovanie stavu konštrukcie, ktoré predstavuje vyššiu úroveň diagnostikovania, umožňujúcu presnejšie stanovenie vlastností a stavu konštrukcie a nosných materiálov. V záujme komplexného konceptu zabezpečenia kvality významných stavieb infraštruktúry sa už v plánovacej fáze navrhujú metódy a prístroje na integrované pozorovanie konštrukcie. Kontinuálne a systematické monitorovanie kritických oblastí umožňuje aktívne manažovanie životnosti stavebných objektov a minimalizáciu nákladov na ich udržiavanie.

Monitorovanie má okrem čisto ekonomického zdôvodnenia aj rad ďalších výhod. V prvom rade je to objektivizácia vizuálnej prehliadky, ale aj verifikácia a validácia inovatívnych stavebných materiálov a technológií. Významným vedľajším účinkom je priebežná aktualizácia a doladenie numerických a mechanických predpokladov nosného systému a materiá-

Obr. 3 Schéma klasifikácie monitorovacích metód a cieľov pre stavebné objekty [30] ■ Fig. 3 Classification scheme of monitoring methods and objectives for building objects [30]



## Literatúra:

- [1] ČSN (STN) ISO 13822: Zásady navrhovania konštrukcií. Hodnotenie existujúcich konštrukcií 2012
- [2] ČSN (STN) 73 0038: Navrhovanie a posudzovanie stavebných konštrukcií pri prestavbách, 1986
- [3] Marková J.: Pravdepodobnostní postupy hodnocení spolehlivosti existujících konstrukcí podle ISO 13822. Beton TKS 1/2005, s. 47–48
- [4] ISO 13823: General principles on design of structures for durability, 2008, s. 46
- [5] Kucharík J.: Katalóg porúch mostných objektov na diaľniciach a cestách, Technický predpis SSC 2003, s. 24
- [6] Jungwirth D., Beyer E., Grübl P.: Dauerhafte Betonbauwerke. Düsseldorf, Beton – Verlag 1986, s. 255
- [7] Drochytka R. a kol.: Technické podmienky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK III. SSBK 2012, s. 256
- [8] Bilčík J., Dohnálek J.: Sanace betonových konstrukcí, JAGA 2003, s. 151
- [9] Niva J. at al: Technical Committee on Diagnosis Methodologies of Structural Health of Concrete Structures Utilizing Advanced Inspection Techniques. Committee Report: JCI-TC101A, 2012, s. 25
- [10] Hola J., Schabowicz K.: State-of-the-art non-destructive methods for diagnostic testing of building structures – anticipated development trends. Archives of Civil and Mechanical Engineering, No. 3/2010, s. 5–18
- [11] Štainbruch J., Anton O., Kordina T.: Rozvoj použití georadaru při diagnostice železobetonových konstrukcí. Beton TKS, 3/2011, s. 66–70
- [12] Kniess H.-G.: Verfahren zur Untersuchung von Spanngliedern. Mitteilungen der Bundesanstalt für Wasserbau, 1986, Nr. 58, s. 131–167
- [13] ČSN (STN) EN 13791: Stanovenie pevnosti betónu v tlaku v konštrukciách a v betónových prefabrikátoch, 2012
- [14] ČSN (STN) EN 206-1: Betón. Časť 1: Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda, 2009
- [15] STN EN 12504-1: Skúšanie betónu v konštrukciách. Časť 1: Vzorky z jadrového vršania. Odber, preskúmanie a skúška pevnosti v tlaku (73 1303), 2010
- [16] STN EN 12504-2: Skúšanie betónu v konštrukciách. Časť 2: Nedeštruktívne skúšanie. Stanovenie tvrdosti odrazovým tvrdomerom (73 1303), 2013
- [17] STN EN 12504-3: Skúšanie betónu. Časť 3: Odtrhová skúška (73 1304), 2005
- [18] STN EN 12504-4: Skúšanie betónu. Časť 4: Určenie rýchlosti (73 1304), 2005
- [19] ČSN (STN) 1542: Výrobky a systémy na ochranu a opravu betónových konštrukcií Skúšobné metódy. Meranie prírúžnosti pri odtrhových skúškach. 2001
- [20] ČSN (STN) EN 6784: Beton. Stanovenie statického modulu pružnosti v tlaku, 1993
- [21] Unčík S., Ševčík P.: Modul pružnosti betónu. BetónRacio, Trnava 2008
- [22] ČSN (STN) 73 1316: Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vztlávnosti betonu, 1989
- [23] [www.tramex.ie](http://www.tramex.ie)
- [24] Bilčík J., Hudoba I.: Vyšetrovanie betónových konštrukcií porušených trhlinami. Beton TKS, 2/2002, s. 46–49
- [25] ČSN (STN) EN 14630: Výrobky a systémy na ochranu a opravu betónových konštrukcií. Skúšobné metódy. Skúšanie hĺbky karbonizácie v zatvrdnutom betóne fenolftaleínovou metódou, 2007
- [26] STN EN 14629: Výrobky a systémy na ochranu a opravu betónových konštrukcií. Skúšobné metódy. Stanovenie obsahu chloridov v zatvrdnutom betóne, 2007
- [27] <http://www.germann.org/Brochures/RCT.pdf>
- [28] Veit-Egerer R., Jeřábek Z., Hubka M.: Posuzování životního cyklu v každé fázi života nosných konstrukcí, Beton TKS, 3/2010, s. 10–19
- [29] Tomko M., Demjan I.: Experimentálna modálna analýza železobetónovej budovy od účinkov železničnej dopravy. Konstrukce 5/2011, s. 24–28
- [30] Santa U., Bergmeister K.: Zustandsüberwachung und Bewertung von Betontragwerken. Beton- und Stahlbetonbau Spezial 2005, s. 82–88

lov použiteľných pri adaptívnych modeloch predpovedania životnosti. Základom statickej odolnosti a trvanlivosti je vývoj kontinuálneho monitorovacieho konceptu sledovania nosných prvkov a ich interakcie. Hlavný problém je identifikácia rôznych typov meraní, ktoré musia byť implementované do globálneho monitorovacieho systému. Na obr. 3 je schéma klasifikácie hlavných veličín, ktoré treba pri hodnotení monitorovania zohľadniť.

## ZÁVERY

Pre preventívnu stratégiu udržiavania stavieb je včasná odhalenie chýb a porúch hlavné hľadisko ich úspešného manažovania. Pri diagnostikovaní existujúcich konštrukcií sa kladú na skúšobné metódy často až protichodné požiadavky: majú byť presné, rýchle a lacné, navyše minimálne poškodzovať nosnú konštrukciu. Týmto nárokom najlepšie vyhovujú polodeštruktívne skúšobné metódy, resp. kombinácia deštruktívnych a nedeštruktívnych metód. V posledných rokoch sa u významných stavieb presadzujú aj dynamické metódy skúšania integrity a monitorovanie konštrukcie.

Diagnostika nosných konštrukcií vyžaduje skúseného odborníka, aby sa zamedzilo chybám alebo dezinterpretáciám výsledkov. V tomto kontexte má tento príspevok poskytnúť všeobecný (a nutne neúplný) prehľad o hodnotení a diagnostikovaní betónových konštrukcií. Uvedený zoznam literatúry a nariadení uľahčí prístup k ďalším informáciám.

prof. Ing. Juraj Bilčík, PhD.

Katedra betónových konštrukcií a mostov

Stavebná fakulta STU Bratislava  
Radlinského 11, 813 68 Bratislava

e-mail: juraj.bilcik@stuba.sk

tel.: +421 259 274 546



Ing. Vladimír Priečodský, PhD.

Centrálna laboratóriá SvF STU  
Technická 5, 821 04 Bratislava

e-mail: vladimir.priechodsky@stuba.sk

tel.: +421 243 336 100



Innovative Solutions – Benefiting Society

12<sup>TH</sup> INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CONCRETE ROADS 2014

September 23–26, 2014 | Prague, Czech Republic



2014 12<sup>TH</sup> ISCR  
PRAGUE  
CZECH REPUBLIC

Rádi bychom se s vámi setkali v Praze na  
**12<sup>th</sup> International Symposium on Concrete Roads 2014.**  
Více informací naleznete na [www.concreteroads2014.org](http://www.concreteroads2014.org)