

VÝVOJ NEDESTRUKTIVNÍCH METOD PRO ZKOUŠENÍ BETONU OD ROKU 1990 ■ DEVELOPMENT OF NONDESTRUCTIVE METHODS FOR TESTING OF CONCRETE SINCE 1990

Petr Cikrle, Ondřej Anton

V oblasti nedestruktivních metod zkoušení betonových konstrukcí došlo za posledních 25 let k řadě změn. Týkají se jednak přístrojové techniky – tvrdoměrů, ultrazvukových přístrojů, rezonančních aparatur, elektromagnetických indikátorů výztuže, ale i nových metod, např. radarové. Současně došlo i ke změnám v normalizaci, které však zatím nejsou dotažené do konce. V první části článku je popsán vývoj norem pro diagnostiku železobetonových konstrukcí – stav v roce 1990, nové předpisy po roce 2000 a harmonizace původních norem s evropskými. Druhá část je věnována vývoji metod pro zkoušení betonu a pro lokalizaci výztuže. ■ A number of changes has occurred in the field of non-destructive testing methods of concrete structures in the last 25 years. Some of them relate to the instrumentation – hardness testers, ultrasonic devices, resonance apparatus, electromagnetic indicators of reinforcement, but some are also new methods, e.g. radar. Concurrently there have also been changes in standardization; however they have not been followed through on. In the first part the article describes development of standards for reinforced concrete structures – state in 1990, new regulations after 2000 and harmonization of the original standards with European standards. The second part is devoted to development of methods for testing of concrete and for localization of reinforcement.

Nedestruktivní zkušební metody jsou nedílnou a významnou součástí diagnostiky a zkoušení vlastností betonu před plánovanou sanací. Na rozdíl od metod destruktivních nepoškozují zkoumané prvky, dílce a konstrukce, jsou výrazně levnější a umožňují vyzkoušet velký počet míst na konstrukci, a to i opakovaně v různých časových úsecích. Tyto metody bývají v novějších předpisech označovány jako nepřímé, protože námi požadovanou vlastnost určujeme nepřímou, na základě kalibračních vztahů. Pro zkoušení betonu lze využít pouze takové nepřímé metody, u nichž existuje statisticky významná závislost mezi ukazatelem nedestruktivní zkoušky a požadovanou vlastností (např. mezi tvrdostí betonu a pevností v tlaku, anebo mezi rychlostí šíření impulzů ultrazvukového vlnění a modulem pružnosti betonu).

Za posledních 25 let došlo k překotnému vývoji stavebních materiálů a technologií, což vedlo k nutnosti inovovat stávající zkušební postupy (normy), metody i přístrojové vybavení. Díky určité prodlevě ve vývoji metod došlo dokonce k jejich odsunutí na druhou kolej za zkoušky destruktivní – v naší zemi ještě výrazněji než v okolních státech. Základem diagnostických průzkumů se tak stalo vrtání a sekání. Cílem příspěvku je ukázat vývoj nedestruktivních metod a přístrojů, zejména však novinky v oboru, které rozhodně stojí za to používat.

VÝVOJ NOREM PRO DIAGNOSTIKU ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

Původní normy pro zkoušení betonu v konstrukci

V roce 1990 byly k dispozici následující normy pro zkoušení betonu v konstrukcích:

- ČSN 73 0038:1986 Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách (zrušena k 1. 9. 2005 a nahrazena normou ČSN ISO 13822)
- ČSN 73 2011:1986 Nedeštruktívne skúšanie betónových

konštrukcií (obsahuje podrobný postup pro zkoušení i vyhodnocení zkoušek betonu a železobetonu)

- ČSN 73 1370 až 76:1981 Zkušební normy pro jednotlivé metody – ultrazvukovou, rezonanční, různé tvrdoměry, kombinované metody, radiometrii a radiografii
- ČSN 73 1317:1987 Stanovení pevnosti betonu v tlaku (pro zkoušení vývrtů nebyla samostatná norma)
- ČSN 73 2400:1989 Provádění a kontrola betonových konstrukcí

Tyto původní normy pro zkoušení betonu v konstrukcích lze charakterizovat jako poměrně podrobné návody pro plánování, provádění a vyhodnocování zkoušek, které byly vzájemně sladěny tak, aby mezi nimi nebyl rozpor. Důraz v nich byl kladen na velký počet nedestruktivních zkoušek, které byly upřesňovány malým množstvím destruktivních – tzv. doplňkových – zkoušek. Nejpoužívanější metodou pro zkoušení betonu byly tvrdoměry, pro hledání výztuže byla kromě elektromagnetických indikátorů často využívána i radiografie.

Nové předpisy po roce 2000

Po roce 2000 došlo k zavádění nových zkušebních předpisů pro zkoušení betonu v konstrukcích. Jejich přehled je uveden v pořadí, v jakém byly přijímány:

- ČSN EN 12504-1:2001 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 1: Vývrtý – Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku (původní vydání bylo v roce 2009 změněno)
- ČSN EN 12504-2:2002 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 2: Nedestruktivní zkoušení – Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem (nově vydána v roce 2013)
- ČSN EN 206-1:2004 Beton, Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda (zrušena a nově vydána jako ČSN EN 206 v roce 2014)
- ČSN EN 12504-3:2005 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 3: Stanovení síly na vytržení
- ČSN EN 12504-4:2005 Zkoušení betonu – Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu
- ČSN ISO 13822:2005 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí (norma obsahuje postupy pro hodnocení existující konstrukce, včetně informací o dříve používaných materiálech (beton, výztuž) ve formě příloh, v jejím novém vydání z roku 2014 jsou doplňující informace vyčleněny do samostatné normy ČSN 73 0038)
- ČSN EN 13791:2007 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných dílcích (stěžejní norma zejména pro nově budované konstrukce)
- ČSN EN 12390-3, změna Z1:2012 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles, obsahující zásady pro přepočty pevnosti v tlaku stanovené na nestandardních tělesech (přesun ze zrušené ČSN 731317).

Přijetí některých nových předpisů provázely rozpaky. Nejdříve od roku 2001 vycházely normy pro jednotlivé zkušební metody (ČSN EN 12504), z jejichž obsahu vyplynulo zásadní snížení významu nedestruktivních zkoušek. Teprve jim nadřazená norma ČSN EN 13791 z roku 2007 některá ustanovení zmírnila a uvádí možnost získat pevnost betonu pomocí nepřímých (nedestruktivních) metod, za referenční je však považována metoda jádrových vývrtů. ČSN EN 13791 evi-

dentně vychází z normy ČSN EN 206-1 pro nově betonované konstrukce, avšak lze podle ní posuzovat i konstrukce stávající (staré), což však vede k nadhodnocování pevností betonu na základě zkoušek jádrových vývrtů (na stranu nebezpečnou). Pro starší konstrukce je vhodné používat výpočty podle ČSN ISO 13822.

V případě nedestruktivních metod (tvrdoměrné, ultrazvukové) naopak norma ČSN EN 13791 výsledky pevnosti v tlaku znatelně понижuje. Důvodem je požadavek na 90% bezpečnost kalibračních vztahů pro nepřímé metody. Kalibrační křivka není průměrná, ale záměrně posazená dolů tak, aby 90 % výsledků požadované vlastnosti leželo nad touto křivkou a pouze 10 % pod ní. Proti jádrovým vývrtům tak u tvrdoměrných nebo ultrazvukových zkoušek vychází pevnost betonu minimálně o jednu, ale častěji o dvě pevnostní třídy nižší, což je hlavním důvodem skutečnosti, že pro vyhodnocování nedestruktivních zkoušek se u nás doposud používají původní normy místo evropských.

Harmonizace původních norem s evropskými

V současné době, po rozsáhlé diskuzi o jejich zrušení, byla většina z původních českých norem přepracována tak, aby nebyly v rozporu s novými normami (tzv. harmonizovány). Znamená to, že společná ustanovení obou systémů norem nejsou v rozporu a české normy řeší navíc problematiku, která není v evropských normách obsažena. Ve skutečnosti upravené české normy stále obsahují části, jejichž harmonizace s evropskými normami je diskutabilní, navíc obsahují i některé chyby a nepřesnosti.

Z hlediska zkušebnictví a diagnostiky však největším problémem je, že do nich byly překopírovány kalibrační vztahy z osmdesátých či spíše šedesátých let 20. století, kdy byl beton vyráběn odlišnou technologií. U moderních betonů je vztah mezi tvrdostí a pevností nebo rychlostí šíření ultrazvuku a modulem pružnosti dosti odlišný. Tyto normy navíc nereflakují nové metody a přístroje, jako je radar pro vyhledávání výztuže, nové elektromagnetické indikátory a jejich možnosti pro odhad průměru výztuže, elektronické tvrdoměry SilverSchmidt (včetně nástavců pro zjišťování odbedňovacích pevností), odrazovou ultrazvukovou metodu či novou impulzovou rezonanční metodu. Tedy v podstatě všechny progresivní novinky v oboru nedestruktivního zkoušení betonu a výztuže.

METODY PRO ZKOUŠENÍ BETONU

Tvrdoměry na beton

Tvrdoměrné metody patřily a stále ještě patří k nejpoužívanějším nedestruktivním metodám ve stavebnictví. Jejich oblibenost spočívala v poměrně jednoduchém postupu, podle něhož bylo možné na základě zjištěného ukazatele tvrdosti stanovit hodnotu krychelné pevnosti betonu v tlaku. Vzhledem k naprostému nedostatku kvalitního zařízení pro odběr jádrových vývrtů byly nedestruktivní metody dokonce preferovány i v normách a na překážku nebyla ani nižší přesnost těchto metod proti normovým destruktivním zkouškám. Po upřesnění pevností v tlaku získaných tvrdoměrným měřením nebo při použití určujícího kalibračního vztahu bylo na výsledky zkoušek nahlíženo stejně, jako by byly získány na zkušebních krychlich.

Podle starší verze ČSN 73 1373 mohly být do roku 2011 používány tyto typy přístrojů:

- tvrdoměry Schmidt (odrazové) typů N, L, M – měřenou ve-

ličinou je odraz (odskok) neboli délka vratné dráhy úderného zařízení – beranu,

- špičkový tvrdoměr (vnikací) – pružinový nebo elektromagnetický tvrdoměr s kaleným kuželovitým hrotem, vhodný pro betony s nižší pevností,
- kuličkový tvrdoměr HPS,
- Waitzmannův tvrdoměr (upravený z kladívka Poldi).

Poslední dva typy již nejsou v novém vydání ČSN 73 1373 uvedeny, ovšem ani špičkový tvrdoměr a odrazový tvrdoměr Schmidt M se dnes v praxi nepoužívá.

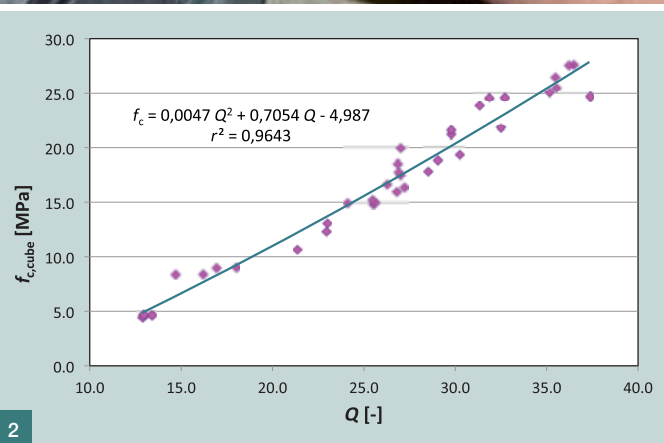
V současnosti se tvrdoměrné měření betonu provádí výhradně odrazovými tvrdoměry Schmidt typu N nebo L. Kromě toho byla metoda obohacena o nová elektronická kladívka SilverSchmidt.

Tvrdoměrné zkušební kladívko SilverSchmidt N je modernější variantou kladívka originál Schmidt N. Odečítání se zobrazuje na displeji a může být automaticky převedeno na pevnost v tlaku. Na rozdíl od hodnoty odskoku „R“ (originál Schmidt) měří novou hodnotu „Q“, představující koeficient odrazu:

$$Q = 100 \cdot \frac{\text{energie obnovená}}{\text{energie výstupní}} \quad (1)$$

Kladívko SilverSchmidt měří pomocí optických čidel rychlost úderu a zpětného rázu okamžitě před úderem a po něm, přičemž vypočítá množství energie, k jejímuž obnovení může dojít. Znamená to, že hodnota „Q“ je proti hodnotě odskoku „R“ méně závislá na tření na vodící tyči, gravitaci a na relativní rychlosti mezi kladívkem a vzorkem (např. při uchycení). Hodnota „Q“ umožňuje rozšíření převodního rozsahu, a to na obou koncích stupnice. Tím je možné zkoušet i moderní betonové směsi. Rozsah pevností udává výrobce od 10 do 100 MPa.

Jednou z novinek, která stojí za zmínku, je přístroj Silver-



Obr. 1 SilverSchmidt L s hřibovitým nástavcem pro zkoušení pevnosti v tlaku betonu již od 5 MPa ■ Fig. 1 SilverSchmidt L with mushroom plunger for testing of concrete compressive strength from 5 MPa

Obr. 2 Příklad kalibrační křivky pro stanovení pevnosti betonu v tlaku z hodnoty Q zjištěné tvrdoměrem SilverSchmidt L s hřibovitým nástavcem ■ Fig. 2 Example of the calibration curve for determining compressive strength by using Q-values determined by SilverSchmidt L with mushroom plunger

Obr. 3 Nový ultrazvukový přístroj Pundit PE-200PE s osciloskopem, automatickým odečítáním doby průchodu UZ vlnění s možností připojení odrazové sondy ■ Fig. 3 New ultrasonic measuring instrument Pundit PE-200PE with an oscilloscope, automatic evaluation of transit time and possibility of using the pulse echo transducer

Schmidt L s hřibovitým nástavcem (Mushroom Plunger) (obr. 1), s jehož pomocí je možné zkoušet při odbedňování betonu s pevností v tlaku již od 5 MPa.

K přístroji výrobce (Proceq) dodává směrnou kalibrační křivku, ovšem přesnější bude vždy vlastní kalibrační vztah, tzv. určující, vytvořený pro beton konkrétního druhu a složení. Příklad kalibračního vztahu pro stanovení odbedňovací pevnosti betonu určitého složení – s různým množstvím cementu CEM I 42,5 R, kamenivem Bratčice 0-4 a Olbramovice 4-8 a 8-16 a superplastifikátorem Sika ViscoCrete 4035 je uveden na obr. 2.

Ultrazvuková impulzivní metoda

Ultrazvuková impulzivní metoda stabilně patří mezi základní metody pro zkoušení betonu nejen v laboratoři, ale i přímo na konstrukci. Umožňuje čistě nedestruktivním způsobem stanovit rovnoměrnost betonu konstrukce, dynamický modul pružnosti, porušení vnitřní struktury a s určitým omezením i pevnost betonu v tlaku, jak bylo podrobně popsáno v [2]. Ačkoliv je zakotvena v několika českých i evropských normách pro zkoušení betonu (i dalších materiálů), není v našem stavebnictví příliš využívána.

Na počátku 90. let byla ve stavebnictví využívána téměř výhradně impulzivní průchodová metoda, založená na měření rychlosti šíření vlnění o frekvenci 20 až 250 kHz (výjimečně 500 kHz) materiálem. K tomu byly využívány starší ruské a východoněmecké elektronkové přístroje s osciloskopem, např. od firmy Krompholz. Jednalo se o zastaralé a velmi těžké přístroje, jejichž použití in situ bylo komplikované. Kromě toho byly na trhu jednodušší přístroje digitální, např. starší Unipan, Pundit či tehdy nové Tico ze Švýcarska. Nevýhodou těchto přístrojů byla nemožnost kontroly měření na osciloskopu.

Uvedené přístroje postupně zastarávaly a ultrazvuková metoda byla odsouvána do pozadí. Teprve v poslední době opět dochází k oživení této tradiční metody i u nás. Nový Pundit PL-200PE přináší spojení výhod jednoduchých digitálních přístrojů s osciloskopem, který je nyní elektronický. Přístroj je přitom lehký (pro zavěšení na krk) a s vysokokapacitní baterií umožňuje celodenní měření v terénu. Kromě tradiční dvojice sond pro průchodovou metodu je možné připojit integrovanou odrazovou sondu s devíti budiči a devíti snímači (obr. 3). Integrovaná sonda umožňuje změření rychlosti příčných vln, kalibraci a následně přesné stanovení tloušťky stěny až do hloubky 1 m. Pokud je ve stěně defekt (dutina, trhлина) o velikosti minimálně 30 mm, pak ji přístroj rovněž zaznamená.

Rezonanční metoda

Každý předmět z tuhého materiálu se po mechanickém im-



3

pulsu rozkmitá. K vyhodnocení dynamických materiálových charakteristik pravidelných těles používáme vlastní kmitočty podélného, kroutivého a příčného kmitání.

Základní rezonanční frekvence se určují pomocí dvou metod závislých na kmitání zkušební tělesa, které jsou založeny na:

- nepřerušovaném (spojitém) kmitání,
- přerušovaném (impulsním) kmitání.

První způsob byl využíván ve starších přístrojích, které vysílaly do materiálu zkušební tělesa spojitě mechanické kmitání, obvykle od 30 Hz do 20 kHz. Přístroje byly složité na ovládání.

Podstatně odlišný je novější impulzivní způsob stanovení vlastních frekvencí. Namísto složité aparatury s osciloskopem je nyní použito mnohem jednodušší zařízení, které má tři základní části:

- Fourierův analyzátor (v podstatě software v libovolném počítači),
- impulzivní kladívko,
- snímač zrychlení.

Výhody a možnosti nové impulzivní rezonanční metody zejména pro sledování poruch vnitřní struktury betonu byly publikovány v [3].

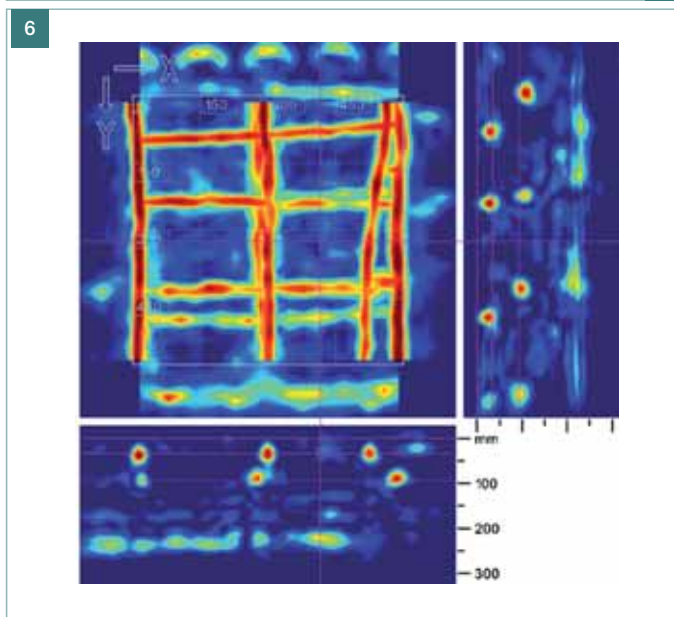
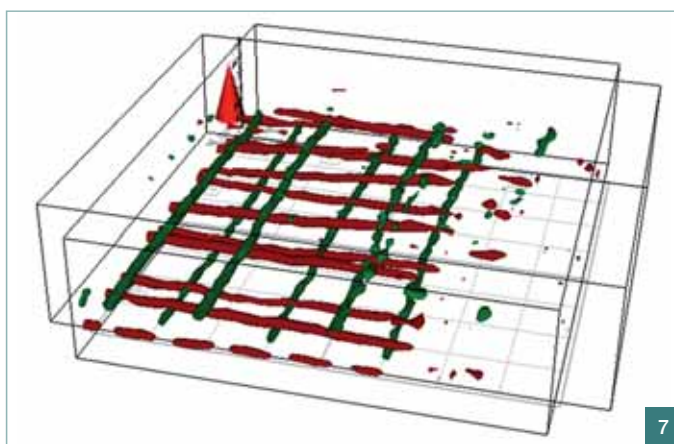
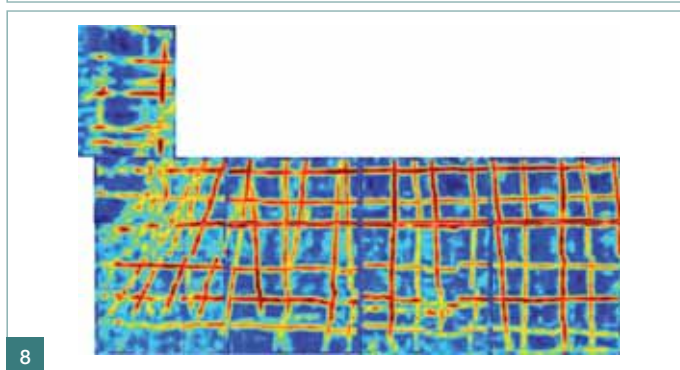
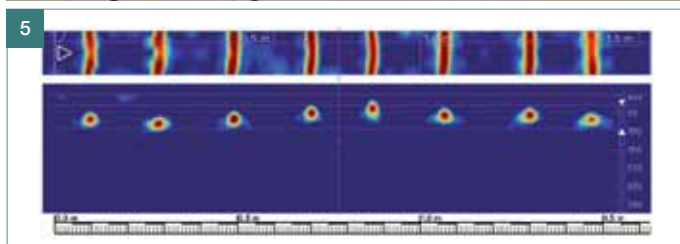
METODY PRO LOKALIZACI VÝTUŽE

Elektromagnetické indikátory výtuže

Metoda původně využívala magnetických vlastností hledaného materiálu. V poslední době se používá metoda založená na pulsně-indukční technologii, která má cívky vyhledávací hlavy bez magnetického jádra.

Pro lepší pochopení změn, ke kterým v současnosti v přístrojové technice dochází, je vhodné provést reminiscenci dříve používaných typů profesionálních indikátorů, zejména od firem Proceq a Hilti.

Profometer 2 je starší typ přístroje, používaný od 70. let 20. století, s indikací výchytky pomocí ručičkového ampérmetru.



Profometer 3 z konce 80. let byl ve své době přelomovým typem, neboť přinesl několik kvalitativních vylepšení. Patřila mezi ně zejména kvantifikace snímaných vlivných proudů pomocí číselné škály, což umožnilo precizní vyhledávání lokálních maxim (středů výztuže) a rovněž kalibraci pro přesnější stanovení krytí výztuže ovlivněné sousední výztuží. Od tohoto typu jsou všechny indikátory vybaveny signalizací pro minimální krytí výztuže.

Další typy **Profometer 4 a Profometer 5** přinesly spíše kosmetické změny a jiný způsob zobrazení.

Konkurence ovšem nezhálela. Firma Hilti přišla na trh s přístrojem **Ferrosan**, který postupně inovovala. Koncepce přístroje směřovala od počátku k plošnému skenování výztuže a okamžitému zobrazení první vrstvy výztuže v obou směrech. Vzhledem k vysoké ceně a rozměrům zařízení však bylo jejich rozšíření omezené. Zvýšení konkurence v této oblasti paradoxně přinesli výrobci levnějších přístrojů, např. firma Bosch, jejíž jednoduché a levné přístroje umí kromě výztuže nalézt také elektrické vodiče pod napětím. Na rychle rostoucí trh s levnými detektory zareagovala jak firma Proceq přístrojem **Profoscope**, tak i firma Hilti přístrojem **PS 35 Ferro-detektor**.

Zásadní pokrok přinesla až šestá generace přístrojů **Profometer PM-6**, která se od přechodných typů výrazně odlišuje. Přístroje Profometer PM-630 (obr. 4) a PM-650 využívají moderní dotykový displej, který umožňuje okamžité zobrazení průběhu měření, což přispívá ke kontrole postupu měření v reálném čase. Sonda je integrovaná (bodová, směro-

vá, hloubková i průměrová), lze ji snadno vložit do rámečku (měřiče dráhy) se čtyřmi kolečky. Kromě tradiční zvukové signalizace je přímo na sondě i světelná signalizace – dvě šipky a kolečko, které usnadňují lokalizaci výztuže i v náročných podmínkách stavby. Jedná se v podstatě o první typ přístroje, který je schopen vykreslit řez vyztuženým prvkem s přesným vyznačením roztečí a krytí a poměrně solidním odhadem průměru výztuže.

Radar

Metoda Georadaru (v anglofonní oblasti označovaná jako GPR – Ground Penetrating Radar) je založená na principu vysílání vysokofrekvenčních elektromagnetických pulzů (frekvence řádově stovky MHz až jednotky GHz) do zkoumaného prostředí a na následné registraci jejich odrazů od překážek.

Vysílací anténa generuje vysokofrekvenční elektromagnetický puls, který se šíří zkoumaným prostředím. Přijímač přijímá v nastaveném časovém okně pulzní odezvu. K odrazu elektromagnetických vln dochází na každém rozhraní změny elektromagnetických vlastností prostředí srovnatelných s vlnovou délkou signálu. Registrovanou veličinou je intenzita odražené vlny zaznamenávaná v diskretních časových okamžicích. Volba vysílací frekvence úzce souvisí s hloubkovým dosahem přístroje, ale obecně platí, čím větší hloubkový dosah, tím menší schopnost rozlišení nehomogenity ve zkoumaném prostředí.

Metoda georadaru je známá desítky let. Její primární aplikace byla využívána v rámci geotechnických a archeologických

Obr. 4 Profometer PM-630 s dotykovým displejem a integrovanou sondou; svítící šipky pomáhají lokalizovat výztuž, na displeji lze ihned kontrolovat správnost měření pomocí křivek intenzity signálu

■ Fig. 4 Profometer PM-630 with a touchscreen and integrated probe; the glowing arrows help to locate the reinforcement; correctness of testing with using signal intensity curves can be immediately checked on the display

Obr. 5 Výstup liniového skenu, v horní části je zobrazen pohled na detekovanou výztuž, v dolní části řez středem linie, kde je snadné přímo odečíst velikost krytí jednotlivých prutů výztuže ■ Fig. 5 Output of line scan, the upper part shows the view of detected reinforcement, the bottom part shows the cut at the centre of the line where it is easy to directly deduct the size of the coverage of individual reinforcement bars

Obr. 6 Příklad plošného skenu, výstupem je pohled a řezy ve dvou na sebe kolmých směrech ■ Fig. 6 Example of surface scan, the output is view and cuts in two perpendicular directions

Obr. 7 Výstup plošného skenu 1 200 × 1 200 mm v podobě plnohodnotného 3D zobrazení ■ Fig. 7 Output of surface scan 1 200 × 1 200 mm in the form of full 3D

Obr. 8 Příklad skládání plošných skenů – výztuž v železobetonové desce balkonu ■ Fig. 8 Folding of circuit scans – reinforcement in the reinforced concrete slab of a balcony

průzkumů zemního prostředí. Zatímco například v USA byla tato metoda velmi záhy využívána i v diagnostice konstrukcí, v České republice nebyla donedávna tato aplikace běžně akceptována. Jedním z důvodů byl nepochybně fakt, že radarové aparatury tuzemských organizací nebyly primárně určeny např. pro měření v železobetonu, a díky tomu byly výsledky z hlediska přesnosti a vypovídacích schopností zcela mimo to, na co byla stavební diagnostika u jiných metod zvyklá. Výsledek měření navíc přístroje podávaly v podobě, která vyžadovala vyhodnocení velmi erudovaným a zkušeným pracovníkem. Standardní radarogramy měly podobu řezu zkoumaným prostředím, kde poloha nehomogenit byla určována dle zobrazených odrazových hyperbol.

Právě komplikovanost vyhodnocení a relativně malá přesnost vedly v oboru diagnostiky konstrukcí k jisté nedůvěře v danou technologii v kontextu s běžně užívanými metodami (magnetické indikátory a radiografie).

Využití standardních georadarů v diagnostice železobetonu v České republice dosáhlo v minulých desetiletích svého vrcholu v podobě systému Dibekon, který vyvinula firma Inset, s. r. o. Šlo o georadar doplněný vodícím rámem s automatickým posunem, kdy byl povrch konstrukce postupně skenován v řadě řezů ve dvou na sebe kolmých směrech. Výsledkem bylo de facto 3D skenování konstrukce. Zařízení bylo určeno pro průzkumy velkých ploch konstrukce, ale jeho instalace a vyhodnocení výsledků bylo poměrně komplikované.

Zásadním přelomem se stalo před několika lety uvedení na trh přístroje Hilti PS1000 X-SCAN. Lze říci, že Hilti jako tradiční výrobce vrtací techniky a magnetických indikátorů výztuže plně využila možnosti metody georadaru v kombinaci s velmi sofistikovaným softwarem, což metodu posunulo kvalitativně na zcela novou úroveň, a PS1000 X-SCAN zaplnil mezeru v oblasti lokalizace výztuže v železobetonu.

Dá se říci, že přístroj byl vytvořen na základě podrobné analýzy možností metody a potřeb a schopností řadových technik provádějících terénní diagnostiku konstrukcí.

Vhodně zvolená frekvence kolem 1,5 GHz umožňuje ve standardním betonu hloubkový dosah 300 mm a přesnost lokalizace objektů ±10 mm. Sonda je osazena trojicí radarových antén, její pohyb po povrchu konstrukce je registrován prostřednictvím pohybu pojezdových koleček sondy.

Zařízení je určeno k provádění liniových nebo plošných skenů, kdy výsledek je prostřednictvím dodaného software zobrazován v podobě pohledového zobrazení a řezů. Liniový

Literatura:

- [1] CIKRLE, P., ANTON, O., DANĚK, P., KUCHARCZYKOVÁ, B., MISÁK, P., NDT Zkoušení ve stavebnictví. Příručka kurzu ČŽV, VUT v Brně FAST, Brno, 2010. ISBN 978-80-214-4198-9
- [2] CIKRLE, P., KOCÁB, D., POSPÍCHAL, O. Zkoušení betonu ultrazvukovou impulsovou metodou. *Beton TKS*. 2013, č. 3., s. 74–79. ISSN 1213-3116
- [3] CIKRLE, P., POSPÍCHAL, O. Nový způsob stanovení mrazu-vzdornosti betonu s využitím metod pro sledování poruch struktury. *Beton TKS*. 2011, č. 3, s. 56–61. ISSN 1213-3116
- [4] CIKRLE, P., ANTON, O., HEŘMÁNKOVÁ, V. Indikátory výztuže – oživení tradiční metody. In *Zkoušení a jakost ve stavebnictví*. VUT Brno, Brno, 2014. s. 27–36. ISBN 978-80-214-5032-5
- [5] ANTON, O., CIKRLE, P., HEŘMÁNKOVÁ, V. Zkušenosti s georadarem při stavebně technických průzkumech, *TZB-info*, Praha, 2014, ISSN 1801-4399
- [6] ANTON, O., ŠTAINBRUCH, J., KORDINA, T. Rozvoj a použití georadaru při diagnostice železobetonových konstrukcí, *Beton TKS*. 2011, č. 3, s. 66–70. ISSN 1213-3116

sken může být prováděn v délce až 10 m, plošný sken v ploše 600 × 600 mm nebo 1 200 × 1 200 mm. K provádění plošných skenů se na povrch konstrukce lepí papírové šablony s rastrovými pojedy sondou ve dvou na sebe kolmých směrech.

Software nabízí i možnost zobrazení zjištěné výztuže v plnohodnotném 3D zobrazení. Při provádění řady na sebe navazujících plošných skenů lze získat velmi dobrou vizuální představu o rozložení výztuže v prvku.

Na závěr lze říci, že vývoj aplikace georadaru během posledních 25 let dospěl k všestranně použitelnému zařízení, a metoda se v posledních dvou letech konečně zařadila mezi standardně používané metody a vytvořila chybějící mezičlánek mezi magnetickými indikátory a radiografií.

ZÁVĚR

Za posledních 25 let došlo nejen v našem stavebnictví k výrazným změnám, na které s určitým zpožděním reagoval i specifický obor stavebního zkušebnictví a diagnostiky konstrukcí. Zatímco metody až na výjimky, mezi něž patří např. radarová metoda pro vyhledávání výztuže, zůstaly velmi podobné, v přístrojovém vybavení jsou změny opravdu znát. Paradoxem je, že od počátku 90. let docházelo spíše k odsouvání nedestruktivních metod do pozadí a hlavními diagnostickými postupy se stalo vrtání a sekání. Teprve v posledních několika letech dochází spolu s modernizací přístrojového vybavení i k širšímu využívání nedestruktivních metod.

Příspěvek vznikl za podpory GAČR 13-18870S „Hodnocení a predikce trvanlivosti povrchové vrstvy betonu“ a dále díky podpoře projektu TE01020168 „Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI)“.

Příspěvek na toto téma zazněl na konferenci Sanace 2015 v Brně.

Ing. Petr Cíkrle, Ph.D.
Fakulta Stavební VUT v Brně
tel.: 541 147 814
e-mail: cikrle.p@fce.vutbr.cz
www.fce.vutbr.cz



Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
Fakulta Stavební VUT v Brně
tel.: 541 147 823
e-mail: anton.o@fce.vutbr.cz
www.fce.vutbr.cz

