

Radiační hutnoměry VUT, modely X a XI

Radiation Density Gauges, Models VUT X and XI

Josef Šupčík, Aleš Martiník

Jakost stavebních prací závisí v neposlední řadě na schopnosti přímé kontroly při jejich provádění. Radiační hutnoměry VUT umožňují kontrolovat objemovou hmotnost čerstvého betonu v okamžiku jeho dodání na stavbu a po uložení do bednění a také jeho zhutnění a to v rozhodujícím objemu betonářských stavebních prací. Vlastní hmotnost hutnoměrů je okolo 5 kg. Mikroprocesorem řízená elektronika poskytuje vysoký uživatelský komfort.

The quality of building works depends particularly on the ability of a direct checking of their implementation. The VUT radiation density gauges make it possible to check the density of concrete mixtures at the time of their deliveries at a building site, their placing into formwork, and their consolidation in a conclusive volume of the complete concrete construction. The proper weight of gauges is about 5 kg. Microprocessor controlled electronics assures high user comfort.

Prvořadým úkolem zkušebnictví ve stavebnictví je zvyšování jakosti staveb. Důležitým jakostním znakem je objemová hmotnost zpracovávaného materiálu. Na stavbách biologického stínění zdrojů ionisujícího záření (jaderné reaktory, lékařská radiodiagnostická a radioterapeutická pracoviště, průmyslová defektoskopická pracoviště) je tato vlastnost rozhodující, poněvadž na ní závisí bezpečnost obsluhy i celková kvalita životního prostředí.

Použití hutnoměrů

Radiační hutnoměry měří objemovou hmotnost čerstvého betonu, jakož i zhutnění zemin, písků a štěrků. Mají uplatnění na stavbách, kde je nutno tuto vlastnost garantovat. Na stavbách silnic a dálnic je možno jimi kontrolovat zhutnění podloží i násypů (v případě štěrků a štěrkodrtí je to snad jediná exaktní možnost kontroly), jakož i zhutnění finálních vrstev. V železničním stavitelství umožňují mj. kontrolu účinnosti podbjecích mechanismů pro štěrkové lože kolejí [3]. Uplatnění najdou hutnoměry při stavbách trezorů bank, kde na kvalitě a dodržení malého rozptylu objemové hmotnosti betonu závisí bezpečnost sejfu. Malý rozptyl objemových hmotností betonu je důležitý také u tenkovrstvých velkoobjemových nádrží z hlediska zajištění jejich vodotěsnosti. Dosažení optimálního zhutnění je důležité i pro sypané hráze a hráze přehrad. Ve srovnání s ostatními metodami měření objemové hmotnosti stavebních materiálů má radiometrická metoda dvě velké přednosti. První spočívá v možnosti proměřovat velký objem materiálu a druhá v tom, že znalost objemové hmotnosti, či zhutnění je prakticky okamžitá. Proto je možno tuto vlastnost průběžně kontrolovat. V případě zjištění neshody mezi naměřenou a požadovanou hodnotou pak lze prakticky okamžitě a relativně levně zjednat nápravu. Dodatečné opravy bývají náročné a velmi drahé. Není možno pominout ani morální dopad použití hutnoměrů in situ. Nekvalitně odvedená práce je ihned odhalena. To vede pracovníky na stavbách k větší kázní, a tím i k docílení vyšší kvality.

Princip měření

Princip hutnoměrů je založen na absorpci a rozptylu záření gama při jeho průchodu materiálem. Pro široký svazek záření

(jehož geometrie je použita v měřičích) je možno napsat upravenou rovnici zeslabení:

$$\rho = a - b \cdot \ln n,$$

kde ρ je objemová hmotnost měřeného materiálu [kg/m^3], n je naměřená četnost [imp/s] a a, b jsou konstanty, které se určují na základě lineární regrese výsledků kalibračních měření. Při kalibraci zjištěné konstanty a, b vyhovují v rozsahu objemových hmotností obvyklých ve stavebnictví pro většinu běžných materiálů.

Konstrukční řešení

Konstrukční řešení vychází z originální myšlenky použít ochuzený ^{238}U pro stínění zářiče v klidové poloze. Tento stínící materiál je relativně laciný a dostupný, poněvadž je využit odpad vznikající při výrobě paliva pro jaderné reaktory. Při stejných stínících účincích činí hmotnost uranu přibližně 1/4 hmotnosti olova. V tomto případě 0,75 kg oproti 3 kg. Konstrukce obou měřičů byla vedena snahou o dosažení co nejnižší hmotnosti.

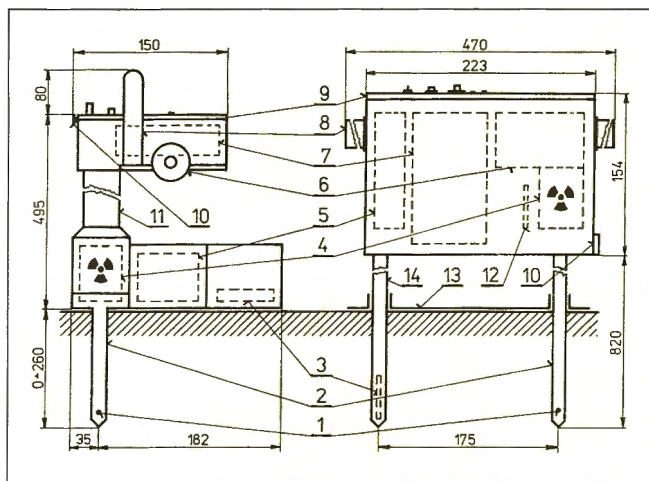
Uspořádání a hlavní rozměry hutnoměru s polovodičovými detektory (dále HXI) jsou na obr. 1a. Spodní díl je spojen durulovou trubicí s horním dílem, ve kterém je vyhodnocovací elektronika a čelní ovládací panel se všemi ovládacími a komunikačními prvky. Toto uspořádání respektuje ergonomická hlediska práce, poněvadž jak při ovládání, tak při čtení naměřených hodnot není zapotřebí se k hutnoměru sklánět. Hutnoměr má výměnné pažnice a umožňuje měřit v hloubkách 0 (geometrie přílohná), 10, 15, 20 a 25 cm.

Použití polovodičové detektory jsou v České republice unikátní. Pracují při běžných teplotách a jejich citlivost je srovnatelná s citlivostí GM detektorů. Jejich výhodou oproti GM detektorům je delší životnost a kratší mrtvá doba, umožňující pro použití zářič rozšiřovat měření směrem k nižším objemovým hmotnostem při hloubkách vpichu 10 a 15 cm.

Uspořádání a hlavní rozměry lehkého hutnoměru modelu X se dvěma rovnoběžnými vpichovacími pažnicemi (dále HX) jsou na obr. 1b. Na tělo hutnoměru s čelním panelem (obr. 2) navazují pažnice detektoru i pažnice zářiče. Rovnoběžnost zajišťuje přílohná vodící plocha, pomocí níž je fixována i potřebná hloubka vpichu. Délka pažnic umožňuje měření od 20 cm pod povrchem měřeného materiálu, ev. stanovení gradientu objemové hmotnosti v závislosti na hloubce. Oba měřiče pokrývají dohromady nejpotřebnější hloubky měření objemové hmotnosti. Nízká hmotnost, jednoduchost manipulace a mechanické řešení zaručují bezpečnou práci operátora.

Elektronika

Základem elektroniky obou hutnoměrů je mikroprocesorová vyhodnocovací jednotka. Použitý software zaručuje vysoký uživatelský komfort. Až 900 naměřených hodnot objemové hmotnosti (včetně zadané hloubky měření a doby měření) se ukládá do vnitřní paměti hutnoměru pro pozdější kontrolu nebo pro přenesení do nadřazeného počítače ke zpracování dat. Obsluha je akustickým signálem informována o ukončení měření, jakož i o radiačním hazardu, není-li zářič v bezpečí v klidové poloze nebo vpíchnut do měřeného materiálu. Testovací programy kontrolují správnou funkci a mj. upozorní přibližně



Obr. 1 – a – Hutnoměr model VUT XI,

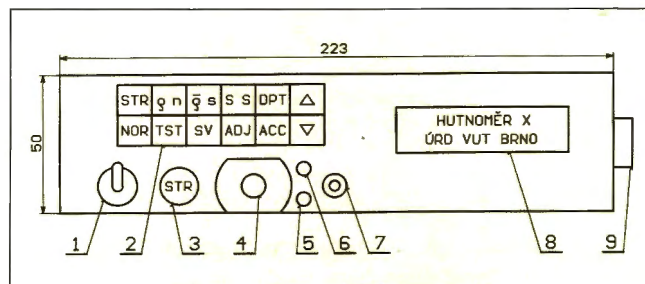
b – Hutnoměr model VUT X

1 – Zářič v pracovní poloze; 2 – Pažnice zářiče; 3a – Pracovní polovodičové detektory; 3b – Pracovní GM detektor; 4 – Stínění zářiče v klidové poloze; 5 – Bateriová kazeta; 6a – Mechanické spouštěcí zařízení; 6b – Elektrické spouštěcí zařízení; 7 – Vyhodnocovací elektronika; 8 – Madla; 9 – Čelní panel s ovládacími a komunikačními prvky; 10 – Bezpečnostní zámek spouštění zářiče; 11a – Spojovací trubka; 12b – Kontrolní GM detektor; 13b – Příložená distanční plocha; 14b – Pažnice detektoru /

a – Density gauge Model VUT XI

b – Density gauge Model VUT X

1 – Source in working position; 2 – Source casing; 3a – Operating semiconductor detectors; 3b – Operating GM detector; 4 – Source shielding in rest position; 5 – Battery cassette; 6a – Mechanical lifting; 6b – Electrical lifting; 7 – Processing electronics; 8 – Handles; 9 – Front panel with control and communication elements; 10 – Source safety release lock; 11a – Connecting tube; 12b – Reference GM detector; 13b – Attached distance area; 14b – Detector casing.



Obr. 2 – Čelní panel HX

1 – Hlavní vypínač; 2 – Klávesnice; 3 – vnější startovací tlačítko; 4 – Přepínač elektrického posunu zářiče; 5 – LED červená (bliká, je-li zářič v pracovní poloze); 6 – LED žlutá (bliká, je-li otevřen kryt); 7 – Konektor pro přehrávání dat a nabíjení baterií; 8 – displej; 9 – zámek krytu a posunu zářiče.

Poznámka: Čelní panel HXI obsahuje (mimo posici 4) stejné ovládací prvky, má však jiné uspořádání / Front panel, Model HX

1 – Main switch; 2 – Keyboard; 3 – Start button; 4 – Source displacement button; 5 – Warning LED red. LED wil blink if the source is in working position; 6 – Warning LED yellow. Led wil blink if the source shielding is open; 7 – Connector for transferring measured values into host computer and for charging built-in battery; 8 – Display; 9 – Safety lock of source shielding and lifting.

2 hodiny předem na nutnost nabití baterií. Zdrojová jednotka zabezpečuje napájení pro všechny elektronické obvody. Splňuje vysoké požadavky na stabilitu napětí pro tvarovač impulsů, poskytuje stabilizované napětí pro napájení detektorů, jakož i napájecí napětí pro vyhodnocovací elektroniku.

Tab. 1 – Hlavní technické údaje / Main technical data

Údaj	Rozměr	HX	HXI
Aktivita zářiče ¹³⁷ Cs	MBq	128	300
Dávkový příkon na povrchu krytu*	μSv/h	<0,05	<0,95
Dávkový příkon v 1 m ²	μSv/h	< 0,6	<3
Detektory	–	GM trubice	Si(Li)
Rozsah měření	kg/m ³	1700 ÷ 3760	1700 ÷ 3760
Přesnost měření**	%	±0,5	průměrně ±1
Napájení	–	5 ks NiCd	2200 mA.h
Provozní doba na jedno nabití	hod.	50	35
Hmotnost	kg	5,4	5,1
Šířka hutnoměrů ***	mm	65	135

* Zářič v klidové poloze. Povolená hodnota je 2 μSv/h.

** V kalibračním bodě a okolí při načítání 8 192 impulsů

*** Ostatní rozměry viz obr. 1a; 1b

Příklad použití

Na stavbě lineárního urychlovače onkologického centra fakultní nemocnice v Brně na Žlutém kopci byla předepsána objemová hmotnost obvyčejného betonu 2 200 kg/m³ a minimální

objemová hmotnost barytového betonu 2 950 kg/m³. Podle objemových hmotností betonových kalibračních vzorků zhotovených v laboratoři podle předepsaných receptur (2 298 a 3 021 kg/m³) bylo možno očekávat, že betonáž proběhne bez větších potíží. Při průběžné kontrole objemové hmotnosti dodávaného betonu in situ bylo zjištěno, že jsou z hlediska dodržení stínících vlastností konstrukce nevyhovující. (Víc než 5 % naměřených hodnot bylo pod minimální hranici). Důvodem byl špatný technický stav betonárny a z něho vyplývající nedodržování technologického předpisu výroby betonu. Přerušení stavby, jakož i změna betonárny byly pro stavební firmu nepřijatelné. Byly proto stanoveny nové minimální objemové hmotnosti obou betonů 2 180 a 2 880 kg/m³, které pak byly směrodatné pro výrobu i pro měření a podle toho byl upraven projekt. Skladba a tloušťky stínících konstrukcí byly s novými minimálními hodnotami objemových hmotností přepočítány v upraveném projektu tak, aby byly zachovány navržené násobnosti zeslabení jednotlivých stěn a stropů (např. do jednoho stropu bylo nutno vložit železný plech o tloušťce 10 mm). Stavba mohla pokračovat a být dokončena v dohodnutém termínu a požadované kvalitě. Toto řešení bylo pro všechny zúčastněné ekonomicky nejvýhodnější. Při uvádění do provozu proměřující orgány „Státního úřadu pro jadernou bezpečnost“ stínící vlastnosti konstrukce při plném výkonu lineárního urychlovače. Při zjištění nevyhovujících dávkových příkonů vně stínících stěn by bylo nutno provést dostižení s důsledkem porušení již hotových interiérů i exteriérů. Technologie by nebyla v provozu. Stavební firma by musela vynaložit značné náklady na dodatečné opravy a penále z prodlení.

Závěr

Hutnoměry umožňují průběžně kontrolovat velký objem betonářských či zhutňovacích stavebních prací. Jejich zavedení do široké stavební praxe je nanejvýš potřebné a projevilo by se zvýšením kvality staveb. Pracovníci ústavu měřili objemovou hmotnost betonu na stavbách tří jaderných elektráren a v poslední době na třinácti stavbách onkologických ozařovačů ne-

mocnic a také trezoru banky v Českém Krumlově. Podle zkušeností pracoviště autorů lze použitím hutnoměrů docílit nejvyšší dosažitelnou kvalitu betonu uloženého v konstrukci.

V příspěvku jsou prezentovány výsledky dosažené při řešení grantu GAČR 103/93/0193.

Literatura:

[1] Hönig, A., Zapletal, V. a kol.: Nedestruktivní zkušebnictví. Skriptum VUT v Brně, 1982.

[2] Šupčík, J., Martiník, A.: Využití polovodičových detektorů

v lehkém radiačním hutnoměru a vývoj lehkého radiačního lysimetrického hutnoměru. Závěrečná výzkumná zpráva úkolu GA ČR 103/93/0183.

[3] Hönig, A., a kol.: Radiometrické určení zhutnění štěrkového lože. Závěrečná zpráva úkolu VUT 72-D-4, Brno 1972.

[4] Víték, L. a kol.: Radiometrická kontrola objemové hmotnosti čerstvé betonové směsi při stavbě radioterapeutického objektu Dětské onkologie ve FN Motol v Praze. Zpráva o řešení HS 240341, Brno 1995.

Ing. Josef Šupčík, Ing. Aleš Martiník, VUT v Brně, FAST, Ústav radiační defektoskopie, Veveří 95, 662 37 Brno.

Betonová rekreace

Návštěvníka přímořských letovisek v Chorvatsku může zaujmout a někoho snad i překvapit způsob výstavby některých nových obytných domů, určených pouze k sezónnímu pronájmu. Domy často obsahují několik nezávislých apartmánů, které jsou využívány pouze v letním období a v zimě jsou neobydleny. Právě skutečnost, že tyto domy jsou určeny pouze k pronájmu v letním období, ovlivňuje postup výstavby, technické řešení stavby i rozsah technického vybavení.

Hlavní nosná konstrukce je nejčastěji tvořena monolitickým železobetonovým skeletem s vyzdívkou z cihelných tvárníc. Stropy jsou železobetonové deskové nebo prefamolitické keramicko betonové.

Rekreující se stavbař ze středoevropské oblasti si během cesty na pláž nebo do vinárny jistě všimne jednoduchosti řešení, které se nezabývá otázkami tepelných mostů v místech železobetonových konstrukcí zasahujících k vnějšímu líci obvodové konstrukce. Je jasné, že v klimatických podmínkách pobřeží Jadranu jsou tepelné technické požadavky podstatně menší, přesto však i v těchto podmínkách by celoroční provoz s vytápěním v zimním období vyžadoval posouzení konstrukce z hlediska nebezpečí kondenzace na vnitřním povrchu a úpravy konstrukčních detailů. Skutečnost je však taková, že objekty často nejsou ani vybaveny vytápěním a není tedy nebezpečí jejich provozování v zimním období.

Dalším typickým znakem je postupná výstavba po jednotlivých podlažích, přičemž hotové spodní podlaží je okamžitě vybaveno nábytkem, kuchyňskou linkou a televizí s anténou a pronajímáno k rekreaci. Výstavba je přes letní sezónu přerušena tak, aby neobtěžovala a neohrožovala rekreanty a pokračuje v období mimo sezónu. Stropní konstrukce tak často bez speciálních hydroizolací plní v letním období funkci ploché střechy. Vzhledem k tomu, že v dané oblasti je v letní sezóně málo dešťových srážek, je minimální riziko, že by rekreanti odjeli s pocitem nekvalitního ubytování.

Typickým detailem nově realizovaných staveb je vyčnívající výztuž z úrovně dokončeného podlaží, sloužící k napojení železobetonových sloupů horního podlaží nebo výztuž vyčnívající z nadokenních věnců pro přibetonování markýz.

Uvedený způsob stavění však pro stavbaře zvyklého na středoevropské podmínky přináší i řadu otázek: Jak je to s korozi výztuže ponechané přes dlouhé období na povětrnosti bez ochrany? Jak je to s návazností různě starých betonových částí? Nevadí stavebním úřadům skutečnost, že stavby jsou užívány ještě před jejich dokončením a kolaudací? Není ohrožena bezpečnost lidí pohybujících se v rozestavěné budově?

Na tyto a možná i další podobné otázky však středoevropský stavbař rychle zapomene u lahve vychlazeného vína nebo se mu z hlavy vypaří na rozžhavené pláži, na kterou byl proti své vůli přikován plíce rád přání svých potomků, toužících se cachtat v průzračné vodě Jadranu.

Petr Hájek

