



SZK – 15 – 015

**Radiometrická kontrola
objemové hmotnosti čerstvého betonu stínících konstrukcí
určených pro zabezpečení radiační ochrany
ozařovny LU s energií 15 MeV
v Karlovarské krajské nemocnici a.s.
Nemocnice v Chebu**

Objednatel: **METROSTAV a.s.**
Koželužská 2450/4
180 00 Praha 8


Ing. Lubomír Vitek, Ph.D.
odpovědný řešitel




prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.
vedoucí ústavu

Brno, květen 2015

Počet vyhotovení:

4

Vyhotovení číslo:

1

1. Úvodní část

1.1. Údaje o zpracovateli

Řešitelská organizace:	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební Veveří 95, 602 00 Brno
IČO:	00216305
DIČ:	CZ00216305
Pracoviště řešitele:	Ústav stavebního zkušebnictví
Vedoucí pracoviště:	prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.
Odpovědný řešitel:	Ing. Lubomír Vitek, Ph.D.
Spolupracovali:	Ing. Jaromír Láník, Ph.D. Ing. Petr Žitt Ing. Petr Misák, Ph.D.

1. Úvod

Na základě HS12554015,021,024 s firmou METROSTAV a.s. Praha, provedli pracovníci Střediska radiační defektoskopie FAST VUT v Brně radiometrickou kontrolu objemové hmotnosti čerstvého betonu stínících konstrukcí určených pro zabezpečení radiační ochrany ozařovny LU s energií 15 MeV v Karlovarské krajské nemocnici a.s. Nemocnice v Chebu.

2. Účel měření

Při výstavbě radioizotopových pracovišť a pracovišť s lineárními urychlovači je nutno zajistit vysokou kvalitu ukládaného čerstvého betonu.

Dosud používané a normou uznávané zkušební metody odhalí nedostatky v kvalitě betonu teprve po jeho zatvrdnutí, kdy je již velmi obtížné a nákladné dosáhnout nápravu. To platí zejména pro stavby biologického stínění, kdy na dodržení předepsané objemové hmotnosti a homogenity závisí bezpečnost a kvalita pracovního prostředí obsluhujícího personálu a životního prostředí okolního obyvatelstva.

Pro kontrolu hutnosti čerstvého betonu byly pracovníky Střediska radiační defektoskopie VUT v Brně vyvinuty radiační hutnoměry (Obr. 1), umožňující měřit objemovou hmotnost čerstvého betonu při jeho ukládání, kdy lze ještě (např. dodatečným zhutňováním směsi vibrátorem či včasným upozorněním na technologickou nekázeň při výrobě betonu) zjednat okamžitou nápravu. To umožňuje v podmínkách hrubé stavby dosahovat laboratorní kvality betonu. Odpadnou tak náklady na případné dodatečné opravy.

3. Termín měření

Měření objemové hmotnosti čerstvého betonu (ČB) prováděli pracovníci střediska radiační defektoskopie v termínech:

Datum měření objemové hmotnosti čerstvého betonu

19. 03 2015	betonáž stěn	- 2250 kg/m ³	
26. 03 2015	betonáž stěn	- 2250 kg/m ³	
29. 03 2015	betonáž stěn	- 2950 kg/m ³	
09. 04 2015	betonáž stropu	- 2950 kg/m ³	I.etapa
09. 04 2015	betonáž stropu	- 2250 kg/m ³	I.etapa
16. 04 2015	betonáž stropu	- 2950 kg/m ³	II.etapa
16. 04 2015	betonáž stropu	- 2250 kg/m ³	II.etapa

4. Použitá metoda a zařízení

Princip měření je založen na absorpci a rozptylu záření gama při jeho průchodu materiálem. Při neměnném geometrickém uspořádání systému zářič - detektor závisí zeslabení primárního záření pouze na objemové hmotnosti prozařovaného materiálu.

Faktor, který toto zeslabení popisuje, se nazývá hmotnostní součinitel zeslabení a je pro prvky středních protonových čísel, které jsou hlavními komponenty materiálů, tvořící klasický čerstvý beton, přibližně stejný.

Radiační hutnoměr je kompaktní přístroj, sdružující detekční i vyhodnocovací jednotku v jednom celku. Toto uspořádání přináší výhodu jednoduché manipulace a snadné přenosnosti přístroje. Umožňuje také obsluhu jedním pracovníkem. Schéma přístroje je nakresleno na Obr. 1, kde je zároveň vyznačena velikost měřeného objemu betonu.

Objemová hmotnost se měří tak, že po vpíchnutí pažnice do čerstvého betonu (délka pažnice je 150 mm) se zářič vysune ze stínícího uranového krytu do špičky pažnice. Záření, které prochází materiálem do detektorů se průchodem zeslabí. V detektorech se převede dopadající záření gama na elektrické impulsy, které se ve vyhodnocovací jednotce zpracují a na zobrazovači měřidla indikují objemovou hmotnost měřeného místa [kg.m⁻³].

Kalibrační vzorek, nutný pro přesnou kalibraci hutnoměrů s ohledem na chemické složení čerstvého betonu byl vybetonován dne 19.3 a 29.3 2015 přímo v areálu betonárny firmy FRISCHBETON s.r.o. Podhradská 676/7 Cheb. (Obr.2)

Objemová hmotnost kalibračních vzorků byla:

- stínící obyčejný čerstvý beton	2365 kg/m ³
- stínící těžký čerstvý beton	3115 kg/m ³

5. Požadovaná kvalita betonu

Pro stínící konstrukce byl navržen beton (dle Návrhu stínících konstrukcí ozařovny pro umístění lineárního urychlovače s energií 15 MeV brzdného záření v Karlovarské krajské nemocnici a.s. Nemocnice v Chebu, SZK 14 – 15, srpen 2014) stínící obyčejný beton o objemové hmotnosti v suchém zatvrdlém stavu minimálně 2.250 kg/m³ (min. 2.320 – 2.350 kg/m³ v čerstvém stavu) a pevnostní třídy C25/30 a stínící těžký beton o objemové hmotnosti v suchém zatvrdlém stavu minimálně 2.950 kg/m³ (min. 3.020 – 3.050 kg/m³ v čerstvém stavu) a pevnostní třídy C25/30 dle ČSN EN 206-1/Z3.

6. Složení čerstvých betonů

Na ochranu před zářením je použito obyčejného a těžkého stínícího betonu. Jeho složení je archivováno u výrobce čerstvých betonů firmy FRISCHBETON s.r.o. Podhradská 676/7 Cheb.

7. Výroba, doprava a ukládání čerstvého betonu

Výroba obyčejného a těžkého stínícího betonu probíhala v centrální betonárně firmy FRISCHBETON s.r.o. Podhradská 676/7 Cheb.

Doprava byla zajištěna domíchávači. Ukládání ČB bylo pomocí čerpacího zařízení. Uložený ČB byl zhutňován vysokofrekvenčními vibrátory. Tloušťka jednotlivých vrstev byla cca 300 - 500 mm.

Betonáže stěn a etapy stropu probíhaly plynule bez přestávek, takže došlo k dokonalému spojení jednotlivých vrstev.

8. Průběžná kontrola hutnosti ukládaného čerstvého betonu

Kontrola objemové hmotnosti čerstvého betonu se uskutečnila ve dvou fázích:

- a) Čerstvý beton byl kontrolován ve zkušební nádobě z každého domíchávače (Obr.3).
- b) Uložený a zpracovaný čerstvý beton byl kontrolován přímo v bednění (Obr.4,5). V případě nepřístupných nebo hustě zaarmovaných míst byla jako výsledek brána hodnota zjištěná dle bodu a)

Diference ve vlastnostech jednotlivých komponent čerstvého betonu, nestejnomyšlnost výroby a složení čerstvého betonu, stejně jako doprava, ukládání a zhutňování mohly při případném souběhu vlivů zavinit zhoršenou kvalitu betonu a tím snížit jeho stínící účinek. Úkolem průběžné kontroly bylo toto ihned zjistit a zjednat okamžitou nápravu. Ihned po uložení ČB a jeho zhutnění probíhala radiometrická kontrola objemové hmotnosti.

Postup při měření byl následující:

Pažnice hutnoměru se zatlačila do čerstvého betonu tak, aby spodní část s detektory na něm ležela a mezi detektory a zkoušeným materiálem nebyla vzduchová mezera. Pažnice musela být do materiálu vtlačena svisle. Zářič byl spuštěn do pracovní polohy a probíhalo vlastní měření.

Po naplnění vstupního registru impulsy se na displeji zobrazila měřená objemová hmotnost. V případě, že průměrná objemová hmotnost v měřeném místě byla nižší, než projektované objemové hmotnosti, bylo toto místo ještě znovu zhutněno ponornými vibrátory, popř. byla okamžitě přijata opatření na zlepšení kvality vyráběného betonu. Kontrola na opraveném místě pak byla opakována.

Souborem výše uvedených opatření bylo dosaženo projektované objemové hmotnosti čerstvého betonu.

9. Záznam naměřených hodnot objemové hmotnosti

Naměřené hodnoty objemové hmotnosti ČB ve zkušební nádobě se přímo na místě zapisovaly a v bednění se odečítaly z přístrojů na pracovišti VUT. Zápisy sloužily potom k vyhodnocení, které se provádělo na pracovišti SRD VUT v Brně.

Číselné hodnoty v tabulkách i grafech značí objemovou hmotnost čerstvého betonu.

Objemová hmotnost betonu zatvrdnutého v normálním prostředí je vypočítána z naměřených hodnot odečtením 70 kg vody na 1 m³ čerstvého betonu.

10. Statistické zpracování naměřených hodnot

Při kontrole objemové hmotnosti ukládaného ČB bylo na stavbě biologického stínění defektoskopického pracoviště proměřeno celkem 75 autodomíchávačů, 250 kontrolních bodů ve stěnách a 124 kontrolních bodů ve stropě (Příloha 1)

Stanovení charakteristické hodnoty podle ČSN EN 1990

Příloha D normy ČSN EN 1990 je věnována stanovení charakteristické a návrhové hodnoty pro jednu nezávislou vlastnost materiálu, kterou objemová hmotnost bezesporu je. Za předpokladu normálního rozdělení je zde charakteristická hodnota objemové hmotnosti betonu definována jako

$$Ro_c = m_x (1 - k_n V_x),$$

kde m_x je průměrná hodnota výsledků zkoušek (výběrový průměr), V_x je variační koeficient. Koeficient kvantilu charakteristické hodnoty k_n se určuje podle tabulky Jeho hodnota je závislá na znalosti variačního koeficientu a počtu měření. Pokud V_x není znám, je možné jej odhadovat pomocí vztahu

$$V_x = \frac{s_x}{m_x},$$

kde s_X je výběrová směrodatná odchylka daná vztahem

$$s_X = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m_X)^2},$$

kde x_i značí výsledky jednotlivých měření a n je počet měření.

Hodnoty k_n

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

Znalost variačního koeficientu může vycházet z předchozího hodnocení zkoušek provedených za stejných podmínek. Norma umožňuje využít také horní konzervativní odhad variačního koeficientu. Je však nutné použít hodnotu 0,1 nebo větší.

Pro výpočet koeficientu k_n lze využít aproximační vztahy:

$$V_X \text{ známý: } k_n = 1,655 + 0,627 / n$$

$$V_X \text{ neznámý: } k_n = n / (-0,95 + 0,614 \cdot n)$$

Statistická analýza naměřených dat

Objemová hmotnost čerstvého a vyzrálého betonu byla posuzována v každé části konstrukce samostatně. Sledována byla homogenita stínících vlastností betonu (objemové hmotnosti) mezi jednotlivými etapami v bednění i mezi hodnotami naměřenými ve zkušební nádobě před čerpáním do bednění. Výsledky zkoušek byly porovnávány s požadavky návrhu prostřednictvím charakteristické hodnoty stanovené podle ČSN EN 1990. Vyhodnocení bylo provedeno s využitím prostředí MS EXCEL a MINITAB 15.
(Příloha 2)

11. Bezpečnostní opatření

Bezpečnost pracovníků s hutnoměry byla zajištěna předepsanou manipulací s přístroji a byla kontrolována filmovými dozimetry a akustickými indikátory záření firmy Andrex. Bezpečnost ostatních pracovníků byla při zářiči v pracovní poloze zajištěna vzdáleností a v klidové poloze uranovým stíněním.

12. Závěr

Z tabulek popisné statistiky a analýzy dat naměřených hodnot u stínících betonů vyplývá, že důslednou kontrolou objemové hmotnosti čerstvého betonu ve zkušební nádobě před uložením do bednění, dobře zajištěnou výrobou čerstvého betonu, včetně organizace při vlastní betonáži a zhutňování čerstvého betonu bylo docíleno, že čerstvý beton ve stěnách a stropu dosáhl ve všech případech předepsané objemové hmotnosti o minimální objemové hmotnosti v normálním prostředí stínícího obyčejného betonu 2250 kg/m^3 a stínícího těžkého betonu 2950 kg/m^3 , který byl použit ve výpočtech stínících konstrukcí.

Z hlediska biologického stínění lze konstatovat, že kontrolované betonové stínící konstrukce ozařovny s LU jsou homogenní, a že byly dodrženy všechny parametry požadované od čerstvého betonu.



Ing. Lubomír Vítěk, Ph.D.

odpovědný řešitel