

BETONY PRO KONSTRUKCE STÍNĚNÍ ZDROJŮ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ CONCRETES FOR SHIELDING STRUCTURES AGAINST IONIZING RADIATION

LEONARD HOBST,
LUBOMÍR VÍTEK

Beton je výborným materiálem pro ochranu před účinky ionizujícího záření. Vlastnosti betonu lze vhodně modifikovat podle výběru použitého kameniva jak proti záření gama, tak proti neutronovému záření.

Concrete is an excellent material for shielding against ionizing radiation. The properties of concrete against gamma and neutron radiation can be modified according to aggregate used.

Konstrukce zabezpečující odstínění zdrojů ionizujícího záření (stínící konstrukce) se budují z homogenních materiálů, o jejichž volbě rozhoduje účel, pro který je zdroj záření instalován, dále energie záření zvoleného zdroje a především také lokalizace pracoviště, v němž je zářič instalován, ve vztahu k vnějšímu prostředí, zejména k prostorům určeným pro pobyt a komunikaci osob.

Obecně od počátku navrhování objektů pracovišť se zdroji ionizujícího záření se uplatňuje zkušenost, že i obyčejný beton použitý jako stavivo stěn místnosti, v níž je zářič umístěn, plní v dostatečné míře stínící funkce. Pouze u pracovišť se zdrojem záření o velkém dávkovém příkonu nebo velkou energií, se používá pro stavbu těžký beton. Ochranu stávajících konstrukcí proti účinkům záření lze dodatečně zesílit speciálními stínícími omítkami, vhodnými pro zachycování záření především nízkých energií.

Při zřizování betonových stínících konstrukcí je prioritním požadavkem zaručit dosažení největší možné objemové hmotnosti použitého staviva a to pokud možno i bez použití speciálního kameniva se zvýšenou objemovou hmotností (baryt, železné rudy), popř. litinové drti.

Obr. 1 Schéma stínící konstrukce lineárního urychlovače s vyznačením míst použití obyčejného a těžkého betonu

Fig. 1 The diagram of the shielding enclosure for the linear accelerator with the marking of ordinary and heavy concrete spots

Mimořádná pozornost se musí věnovat tomu, aby byla vyloučena možnost vzniku dutin, nehomogenních shluků, nežádoucí pórovitosti a jiných závad. Všechny tyto závady v konstrukci stěn a stropů pracovišť se zdroji záření by představovaly výrazné znehodnocení ochrany vnějšího prostředí proti účinkům ionizujícího záření. Jejich dodatečné odstraňování je mimořádně obtížné, a proto je nutné průběžně a nekompromisně kontrolovat dodržování předepsaného složení betonové směsi a dohlížet na dodržování nutných technologických postupů, zejména při ukládání a hutnění betonové směsi.

STÍNĚNÍ Z OBYČEJNÉHO BETONU

Optimálního výsledku lze dosáhnout, je-li stínící konstrukce zářiče projektována v dostatečném časovém předstihu před zahájením stavby a je-li zavčas určen dodavatel betonové směsi pro stínící konstrukce. V tomto případě je možné předem vyhodnotit stínící parametry vyráběného betonu, stanovit směrodatnou odchylku objemové hmotnosti a navrhnout optimální rozměry stínící konstrukce z obyčejného betonu.

Není-li možno průměrnou objemovou hmotnost betonu z místních zdrojů kameniva stanovit předem, lze ji pro účely výpočtu odhadnout. V tomto případě však při volbě vstupních parametrů často dochází k nepřesnostem, které mohou do značné míry ovlivnit kvalitu stínících kon-

strukcí, resp. zvýšit investiční náklady stavby, aby byly nutné požadavky na zabezpečení radiační ochrany dodrženy.

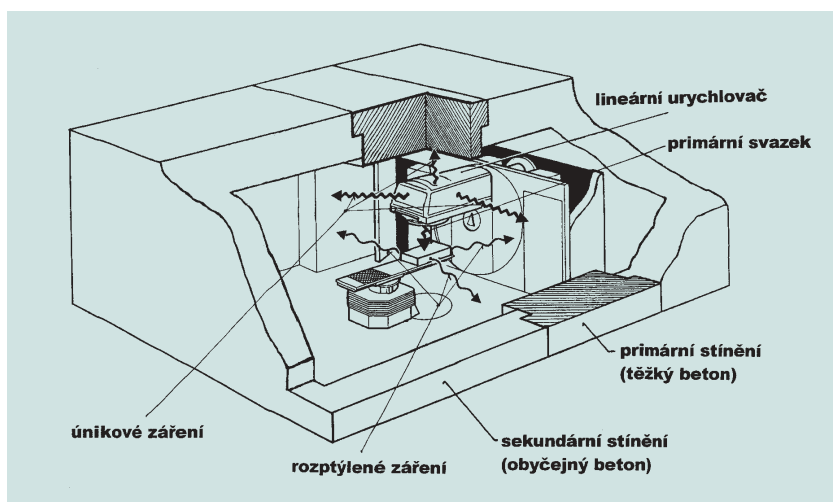
Směrodatná odchylka objemové hmotnosti betonové směsi je závislá na více činitelích, nejvíce na stejnorodosti kameniva použitého při výrobě betonové směsi a na technickém vybavení betonárny, která musí garantovat maximální homogenitu betonové směsi. Z porovnání celé řady betonáren vychází hodnota směrodatné odchylky betonových směsí $s = 20$ až 25 kg/m^3 . Zaručená objemová hmotnost je proto u standardních betonů uvažována průměrnou objemovou hmotností sníženou o 30 až 40 kg/m^3 .

Při průměrné objemové hmotnosti zatvrdělého betonu $\rho_0 = 2300 \text{ kg/m}^3$ je do výpočtu dosazována zaručená hodnota objemové hmotnosti betonu $\rho_g = 2260$ až 2270 kg/m^3 .

Při určování objemové hmotnosti čerstvé betonové směsi je však nutno odečíst ještě cca 40 kg/m^3 hmoty vody, která není využita pro hydratační proces a z betonu se odpaří.

STÍNÍCÍ KONSTRUKCE Z TĚŽKÉHO BETONU

Nelze vyloučit, že v některých případech bude vhodnější volit pro stavbu stínících konstrukcí, anebo alespoň jejich vybraných částí, betonovou směs s rozšířenou objemovou hmotností, vykazující větší ochrannou účinnost proti záření. Jedná se



především o ty části konstrukce, na které během provozu dopadá primární svazek záření (obr. 1). Tyto části konstrukce by při zachování stejného stupně bezpečnosti byly ve vztahu k ostatním částem konstrukce nepřiměřeně rozměrné. Zvlášť účelné však je těžké betony navrhovat při rekonstrukčních pracích, zejména při realizaci vestaveb, u kterých je možnost volby tloušťky stěny limitována stávajícím dispozičním řešením.

Podstatou těžkého betonu je, že jako složka pro jeho výrobu se používá kamenivo o vysoké specifické hmotnosti. Nejčastěji to bývá drcený baryt, mohou to však i být i různé železné rudy nebo doplňkově litinová drť, popř. sekané kousky železa (obr. 2). Objemová hmotnost těžkého betonu závisí na množství těžkých látek v kamenivu a musí být pro každé naleziště pečlivě stanovena zvlášť.

DRUH TĚŽKÝCH BETONŮ

Druh a složení těžkých betonů se volí v závislosti na požadované objemové hmotnosti a podle zdrojů těžkého kameniva, které jsou pro stavbu stínící konstrukce nejbližší k dispozici. Podle druhu použitého těžkého kameniva rozeznáváme:

Barytový beton

Jako kamenivo se používá barytu (těživec) BaSO_4 , který je v kamenivu obsažen v různé koncentraci. Koncentrace BaSO_4 u kvalitního barytu dosahuje 75 %. V současné době jsou naleziště bohatá na koncentrovaný BaSO_4 ve střední Evropě poměrně vyčerpána. Baryt tříděný podle požadavků odběratele těží v Rudňanech u Spišské Nové Vsi (Slovenská republika).

Beton zhotovený z barytu s velkou koncentrací BaSO_4 může mít průměrnou objemovou hmotnost ρ až 3500 kg/m^3 . Samotný barytový beton je vhodný pro stínění rentgenových pracovišť s rentgeny do energie 500 kV, pro vyšší energie záření se směs barytového betonu doplňuje litinovou drť pro zvýšení objemové hmotnosti.

Limónitový beton

Limónit, hnědel – má nahnědlou barvu, je směs oxidů a hydroxidů železitých ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$). Jednou z jeho hlavních složek je goethit. Limónit je konečným produktem zvětvování železných rud. Obsah železa kolísá od 35 do 40 hmotnostních %.

Beton zhotovený z limonitu dosahuje objemové hmotnosti 3000 kg/m^3 .

Naleziště limonitu jsou ve Slovenském rudohoří a v Lotrinsku na Kerčském poloostrově a ve Španělsku.

Hematitový beton

Hematit (krevel) je oxid železitý (Fe_2O_3), cihlově červené barvy. Je to vydatná železná ruda, obsahující až 70 hmotnostních % železa.

Beton zhotovený z hematitu dosahuje objemové hmotnosti až 3500 kg/m^3 .

Naleziště hematitu u nás jsou Horní Blatná a Hradiště u Kadaně, Mišek pod Brdy a Ejovice. Ve světě jsou rozsáhlá naleziště v Brazílii, Krivém Rogu na Ukrajině a v USA.

Magnetitový beton

Magnetit (magnetovec) je oxid železnatoželezitý (Fe_3O_4), je černé barvy. Je to nejbohatší železná ruda (obsahuje až 72 % železa). Jeho hustota je až 5200 kg/m^3 .

Beton zhotovený z magnetitu dosahuje objemové hmotnosti 3400 až 4000 kg/m^3 .

Naleziště magnetitu u nás jsou ve Vlastějovicích nad Sázavou, v Malešově u Kutné Hory a v Přisečnici v Krušných horách. Ve světě jsou významná naleziště Itabira v Brazílii, Dielette ve Francii a Kirunowara ve Švédsku.

Ilmenitový beton

Ilmenit je oxid železnotitaničitý ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) – titanová ruda, vytváří černé tabulky. Je o 12 až 15 % lehčí nežli jiné železné rudy.

Beton zhotovený z ilmenitu dosahuje objemovou hmotnost 3500 kg/m^3 .

K významným nalezištím patří Egersund v Norsku a Miass na Urale.

Ferofosforový beton

Ferofosfor (směs FeP , Fe_2P), vzniká jako vedlejší produkt při výrobě fosforu. Vzhledem ke své vysoké objemové hmotnosti lze dosáhnout objemové hmotnosti betonu až 4800 kg/m^3 .

Železo-portlandský velmi těžký beton

Kamenivo tohoto betonu je nahrazeno litinovou drťí nebo sekaným železem. Sekané železo může být i vedlejším produktem při výrobě šroubů, fitinků a jiných výrobků ze železa. Tento beton se však vyrábí velmi těžko a těžko se zpracovává.

Železo-portlandské betony dosahují objemové hmotnosti až 6000 kg/m^3 .



Obr. 2 Betonáž primárního stínění lineárního urychlovače baryto-magnetitovým betonem o objemové hmotnosti $\rho = 2950 \text{ kg/m}^3$

Fig. 2 Concreting of the linear accelerator primary shielding with baryte-magnetite concrete with a density of $\rho = 2950 \text{ kg/m}^3$

Uranový beton

Ochuzený uran (DU – depleted uranium) se nachází ve velkém množství jako odpadní materiál ve státech, které se zabývají výrobou obohaceného paliva pro jaderné elektrárny. Jednou z možností jeho využití je použít vhodně upraveného oxidu uranu jako kameniva do betonu. Toto kamenivo se vyrábí v USA pod názvem DUAGG a má objemovou hmotnost 8800 kg/m^3 . Z něj vyrobený beton má název DUCRETE a dosahuje objemové hmotnosti 6400 kg/m^3 . Tento beton je v USA určen pro výrobu kontejnerů pro uskladnění vyhořelého paliva a vysoce radioaktivních odpadů v úložiscích.

STÍNĚNÍ NEUTRONOVÝCH A KOMBINOVANÝCH ZDROJŮ ZÁŘENÍ

Kromě zdrojů záření gama se stále častěji jak v průmyslu, tak ve zdravotnictví vyskytují požadavky na stínění buď jen neutronového záření (např. využívání kalifornia Cf 252 v brachyterapii) anebo na kombinaci neutronového záření a záření gama. Vyhovující stínící materiál proto musí obsahovat jak prvky s nízkým atomovým číslem Z pro odstínění neutronového záření, tak prvky s vysokým Z pro odstínění primárního záření gama ze zdroje a sekundárního záření a ze záchy-

tu neutronů. Proti tomuto kombinovanému záření se jeví jako vhodný stínící materiál modifikovaný beton, specifického složení. Nejznámější betony pro odstínění neutronového záření jsou betony serpentinitové a boritové.

Serpentinitový beton

Serpentinitové horniny obsahují azbest ($3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$), který je schopen dlouhodobě uchovávat svoji krystalizační vodu až do teploty 450°C . Jako kamenivo lze však použít pouze takový serpentinit, který tvoří krátká vlákna. Kvalitní azbest s dlouhými vlákny nelze pro účely stínění používat, protože neumožňuje kvalitní zpracování betonu. Serpentinitové kamenivo se používá v případech, kdy se předpokládá vnitřní teplota betonu vyšší než 95°C , což se vyskytuje především u jaderných reaktorů. Výhodnost aplikace serpentinitového betonu pro stínění před neutronovým zářením je dána těmito charakteristikami:

- velkým obsahem vázané vody
- odolností proti vysokým teplotám

Objemová hmotnost serpentinitového betonu je 2100 kg/m^3 , tedy menší než u klasického betonu, a proto i jeho stínící účinky proti záření gama jsou nižší. Stínící

účinky proti neutronovému záření jsou však podstatně lepší než u klasického betonu. Proti kombinovaným zdrojům záření lze serpentinitový beton upravit přidáním těžkých frakcí kameniva nebo litinovou drť.

Boritový beton

Beton z těžkého kameniva a kameniva s obsahem vodíku zeslabuje záření gama a rychlé neutrony. Je však nutno ještě dosáhnout zachytu tepelných neutronů bez následného vzniku vysokoenergetického sekundárního záření gama. K tomu je nutno do betonu přidat prvky, které mají velký absorpční průřez pro tepelné neutrony s následnou emisí pouze nízkenergetického záření gama. Vyhovujícím prvkem je izotop B 10, který je obsažen v horninách, anebo se přidává jako umělá přísada (je ho obsaženo 19 % v přírodním bóru). Bór může být přidáván do obvyklého a těžkého betonu různými způsoby. Nejlépe je přidávat bór ve formě písku o velikosti zrna 0,5 až 2,5 mm. Doporučuje se podíl 0,9 až 1 % bóru vztaženo na hmotu betonu. S ohledem na stínící účinky není zvyšování obsahu bóru nad 1,5 % efektivní, navíc narůstají problémy s tuhnutím betonu.

ZÁVĚR

Volba materiálů pro stínící konstrukce má zásadní vliv na bezpečnost stínících konstrukcí a významně ovlivňuje ekonomiku celé stavby. Obecně je možné doporučit jako nejvhodnější stínící materiál obvyklý beton, který plní funkci nosnou, ale zároveň i funkci stínící. Při rekonstrukci, modernizaci a vestavbě ozařoven do stávajících objektů je však vhodnější používat těžký beton, i když jeho výroba je technologicky náročnější a výrazně dražší. Před jeho použitím je však vždy nutno vypracovat ekonomickou rozvahu, která by objem konstrukcí z těžkého betonu patřičně odůvodnila a v největší možné míře omezila.

Príspevek vznikl za podpory výzkumného záměru MSM 261100007 Fakulty stavební VUT v Brně.

*Doc. Ing. Leonard Hobst, CSc.
 tel.: 541 147 836, e-mail: hobst.l@fce.vutbr.cz
 Ing. Lubomír Vitek
 tel.: 541 147 825, e-mail: vitek.l@fce.vutbr.cz*

*oba: Ústav stavebního zkušebnictví
 FAST VUT v Brně
 Veveří 95, 662 37 Brno*

Pokračování ze strany 17

z toho tzv. aféra ministerských komisařů. Dr. Reich byl zatčen, vězněně nějaký čas v Brně a posléze propuštěn do psychiatrického léčení. Ne, Dr. Reich ovšem blázen nebyl. Úřady měly zájem, aby se věc sprovodila ze světa suchou cestou bez velkého procesu, neboť v aféře byly i sebevraždy... Byla přece jen trochu jiná doba...

Dr. Reich nebyl jen inženýrem a podnikatelem. Měl rád pestrý život, snažil se ho užívat na plno. Lyžoval, tančil, pokud mu to čas dovolil, cestoval. A měl velice rád matematiku, takže si výukou v krušných dobách Protektorátu přivydělával. Mnoho vykonal pro české stavební inženýrství – byl zakladatelem Českého betonářského spolku, v jehož tradicích pokračuje naše Česká betonářská společnost, podporoval Kloknerův ústav od jeho založení. Vychoval mnoho betonářských odborníků, kteří později působili na vysokých školách.

26. října 1941 byl Dr. Reich odvezen do ghetta v Lodži. V transportu bylo přesně 1000 Židů. Reich ghetto přežil: zachránila ho ta brožurka o Vierendeelově nosníku. Židovský vedoucí stavebního podniku v ghettu byl polský inženýr, který si vzpomněl, že v jejich technickém průvodci „Stefan Brela“ je Emil Reich citován jako autor metody řešení Vierendeelova nosníku, která také byla v tom průvodci doporučena. „Seš ty ten Reich, co vyřešil ten vierendelák?“ – „Jo? Tak dobrý, budeš tamhle dělat tvárnice...“ A když byl Dr. Reich v roce 1942 obeslán do transportu smrti, onen Polák ho vyreklamoval, že Reicha nezbytně potřebují...

Tehdy se ještě netušilo nebo se spíše nechtělo tušit, jak ty transporty končí. Vrátil se do Prahy „bez známek infekčního onemocnění a beze vši“ 18. června 1945. Z onoho transportu se dožilo osvobození jen 63 osob...

Vzpomínky na Emila Reicha by vydaly na několik čísel časopisu. A tak krátké připomenutí této významné postavy českého betonářského inženýrství a podnikatelství uzavřeme několika myšlenkami, které pan doktor předával svým synům, vnukům a všem, kteří se od něj něco chtěli naučit:

Hloupý není ten, který neví, ale ten, který se neptá.

Pravda je jen jedna, proto je pro paměť pohodlná.

Lži je nekonečně mnoho, kdo jich užívá, musí trénovat paměť.

Zvědavost je vitamin úspěšné práce.

Máš-li nejmenší podezření [o nekalém počínání obchodního partnera], tak ruce pryč!

Nakonec ještě jednu poznámku: Bez velké nadsázky mohou Emila Reicha nazvat Baťou českých betonářů. Oba ti muži měli mnoho společných rysů. Podnikatelského ducha vysoké úrovně, oddanost práci a strojům, vztah ke spolupracovníkům, touhu předávat znalosti... V jednom se ale přece jen lišili: Baťa, ač švec, dovedl navrhnout železobetonový trám. Reich neuměl spravit boty...

Milík Tichý