

RADYASYONA KARŞI AĞIR BETON

Çeviren: Ömer İÇEMER*

Özet

Ülkemizdeki enerji sorunlarının aşılması amacıyla fosil yakıt kaynaklarına alternatif olarak nükleer enerji santrallerinden elektrik enerjisi üretilmesi planlanmıştır.

Mersin-Akkuyu, Sinop ve Kırklareli-İğneada'da nükleer enerji santrali çalışmaları devam etmektedir.

Enerji santrallerin yapımında radyasyon korunumlu ağır beton kullanılması gerekmektedir.

Bu yazı, ağır beton ve bileşenlerine ait (agrega, çimento, beton karma suyu, kimyasal katkıları vb.) malzemelerin olması gereken özelliklerinin tanıtılması ve kullanım koşulları hakkında bilgi vermek üzere düzenlenmiştir.

Önsöz

Avrupa'da ve dolayısıyla Almanya'daki inşaat standartları geçiş döneminindedir.

Bir geçiş döneminde olan eski ve yeni jenerasyon standartları birbirine paralel olarak değerlendirilecektir.

Bu makale DIN 1045:1988 [1] ve agrega standardı DIN 4226:1983 [5]'e atıfta bulunmaktadır.

DIN 1045: 2001, DIN EN 206-1: 2001 [2, 3, 4] ve DIN 4226: 2001 [6] gibi italik olarak yazılmış olan ifadeler, yeni nesil standartların yaptığı değişiklikleri açıklar.

DIN 1045'e göre, kuru beton yoğunluğu $\geq 2,8 \text{ kg / dm}^3$ veya etüv kurusu yoğunluğu $\geq 2,6 \text{ kg / dm}^3$ olan ağır beton;

- Radyasyondan korunmada (Tıp-ilaç sanayinde, malzeme testleri, gümrüklerde, araştırma ve nükleer santrallerde)
- Balastlamada (inşaat makineleri, gemicilikte yüzdürme korumasında, temeller ve boru iletim hatlarında),
- Para kasalarında
- Ses yalıtımında, kullanılır.

Yasama meclisleri, insanların korunması için izin verilen azami radyasyon seviyelerini belirler.

Koruyucu beton olarak da adlandırılan Radyasyondan Korunma Betonu radyasyonun tehlike etkisini azaltır. Çizelge 1, betonun sunduğu koruyucu etkiyi göstermektedir.

High-Density Concrete / Radiation Protection Concrete

In order to overcome the energy problems in our country, it is planned to produce electricity from nuclear power plants as an alternative to fossil fuel sources.

Nuclear power plant work continues in Mersin-Akkuyu, Sinop and Kırklareli-İğneada.

In the construction of power plants, High-density concrete with radiation protection is required.

This article is prepared to give information about the properties of high-density concrete and its components (Aggregate, Cement, Concrete Mixed Water, Chemical Admixtures etc.) and their usage conditions.

(*) Kimya Müh. THBB Teknik Komite Üyesi, oicemer@hotmail.com

Kaynak: Schwerbeton/Strahlenschutzbeton, "High-density Concrete / Radiation Protection Concrete" Bauberatung Zement/Zementmerkleblatt Beton Technik B10 1, 2002

"High-density concrete / Radiation protection concrete Construction consulting Cement / Cement Leaflet Concrete Technology B 10 1.2002

Çizelge 1: Betonun Radyasyondan Korunma Etkisi

Koruyucu Radyasyon	Radyasyon Kaynakları (Örnekler)	Radyasyondan Korunma Betonlarında Nitel Gereksinimler
Röntgen Işınları	Röntgen Cihazları, Lineer Hızlandırıcı	- Geleneksel Normal Beton ile beton yoğunluğu; $\rho_R \geq 2,4 \text{ kg / dm}^3$ ve yaklaşık 300 mm kalınlıklar olmalı
α -Radyasyon β -Radyasyon	Radyonüklidler	- Yeterli aralıktaki beton kalınlığı, mm
γ -Radyasyon	Nükleer/Atom Reaktörleri, Radyonüklidler, Nükleer Patlamalar	-Yüksek yoğunluklu ve/veya büyük kalınlık
Nötron Radyasyonu		- Yüksek oranda kimyasal bağlı su içeriği - Bor, Kadmiyum veya Hafniyum ilavesi - Yüksek yoğunluk - Büyük kalınlık

Çizelge 2: Ağır ve Radyasyondan Koruma Betonları İçin Kullanılan Agregalar (Taş Tanecikleri) ve İlave Bileşenler

Malzeme Grubu (Mevcut Tane Boyutları)	Tane yoğunluğu kg/dm^3	Demir Oranı % Ağırlıkça	Kristal Su % Ağırlıkça	Bor Oranı % Ağırlıkça	Kimyasal Elementler (Ana Bileşenler)	Hedef Fiyat (Normal Agregat Tutarı= 1)
Normal Agregalar (Normal Agregat Taneleri)						
Çakıl	2,6 - 2,7	-	-	-	Si, Al, Ca, K, Na, Mg, C, O	1
Kalker	2,6 - 2,8	-	-	-	Ca, Al, C, O	1-3
Granit	2,6 - 2,8	-	-	-	Si, Al, K, Na, O	1-3
Bazalt	2,9 - 3,1	<10	-	-	Si, Al, Fe, Mg, O	1-3
Doğal Ağır Agregalar (Doğal Ağır Taş Taneleri)						
Baryt (Barit)	4,0 - 4,3	-	-	-	Ba, S, O	10 - 15
Ilmenit (Titanyum demir taşı)	4,6 - 4,7	35 - 40	-	-	Fe, Ti, O	10 - 15
Magnetit (Manyetik demir taşı)	4,6 - 4,8	60 - 70	-	-	Fe, O	10 - 25
Hematit (Kırmızı demir taşı)	4,7 - 4,9	60 - 70	-	-	Fe, O	15 - 25
Yapay Ağır Agregalar (endüstriyel olarak üretilen, ağır taş taneleri)						
Ağır Metal Curufları ¹⁾	3,5 - 3,8	< 25	-	-	Si, Ca, Fe, O	5 - 10
Ferrosilisyum	5,8 - 6,2	80 - 85	-	-	Fe, Si	20 - 35
Ferrofosfor	6,0 - 6,2	65 - 70	-	-	Fe, P	30 - 40
Çelik Granüller ($\leq 8 \text{ mm.}$)	6,8 - 7,5	90 - 95	-	-	Fe	30 - 45
Çelik kum (0,2 ... 3 mm)	7,5 - 7,6	rd. 95	-	-	Fe	50 - 60
Kristalleşme suyu yükseltilmiş Agregalar (Taş Taneleri)						
Limonit (4 ... 16 mm)	3,6 - 3,8	50 - 55	10 - 12	-	Fe, O, H	15 - 20
Serpantin	2,5 - 2,6	-	11 - 13	-	Si, Mg, O, H	10 - 20
Bor içeren malzemeler						
Borokalsit, kolemanit	2,3 - 2,4	-	16 - 20	rd. 13	B, Ca, O, H	40 - 65
Borfit	2,4 - 2,6	-	-	rd. 15	B, Si, Na, O	rd. 200
Bor karbid	2,4	-	-	rd. 78	B, C	rd. 3300

Ağır metal içeriği güçlü dalgalanmaları azaltabilir.

Çizelge 3: Fuller Parabolüne göre Sınıflandırma Eğrileri

Tane Dağılımı	Her bir elekten (mm) geçen hacimce % miktarlar							
	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5
0/32	5	12	17	25	35	50	70	100
0/16	8	17	25	35	50	70	100	100
0/8	11	25	35	50	70	100	100	100

Çizelge 4: Sertleşmiş çimento hamurunda öngörülebilir kimyasal bağlı su içeriği (w_{zs}) için referans değerleri

İşletme Sıcaklığı °C	W_{zs} kg/m ³	$\alpha^{2)}$
< 40	$0,2 \cdot z + 30$	0,19...0,23 Yoğun hidratasyon koşullarında ¹⁾
40...100	$\alpha \cdot z$	
Yaklaşık 200	$0,55 \cdot \alpha \cdot z$	0,14...0,19 28 günlük standart kürden sonra
Yaklaşık 300	$0,45 \cdot \alpha \cdot z$	

1) Beton yaşı en az üç ay olan dehidrasyona karşı korunan büyük yapı bileşenleri

2) $w/z > 0,5$ olduğu durumlarda daha yüksek değerler verilir.

- R çimentoları (hızlı sertleşen çimentolar)
- yüksek oranda C_3S içerikli ve yüksek incelikte öğütülmüş çimentolar.

Radyasyon etkisinin zayıflatılması/azaltılmasının ispatı, beton mühendisinin görevi değildir;

Radyasyondan korunma uzmanı, yapısal koşulları (örneğin, yapı bileşeni kalınlığını) dikkate alarak beton tasarımı için gerekli olan;

- Sertleşmiş beton yoğunluğu,
- Kimyasal olarak bağlı su içeriği oranı,
- Nötron yakalama olasılığı daha yüksek katkı maddeleri
- Agregaların (agrega tanelerinin) kimyasal-mineralojik kompozisyonuna ait parametreleri sağlamalıdır.

Beton içindeki;

- Sıcaklık gerilmeleri,
- Mekanik ve kimyasal etkiler,
- Ekonomik kısıtlamalar, nedeniyle daha farklı gereklilikler ortaya çıkabilir.

Radyasyon koruması için kuru yoğunluğu 2,8 ila 6,0 kg/dm³ (2,6 ila 6,0 kg/dm³ arasında.)* olan ağır betonlar kullanıldığı

gibi normal betonla örneğin tıbbi teknik gereği 2 m boyutlarındaki yapı bileşeni kalınlıkları kullanılması gerekebilir.

1. Başlangıç Malzemeleri

Çimentolar

Çimento olarak uygulama kurallarına uyulması halinde DIN EN 197-1 ve DIN 1164 standartlarına uygun çimentolar kullanılabilir. (çimentoların uygulama alanları, yapı bileşenlerinin çevre etki sınıflarına bağlı olarak DIN 1045-2'ye göre tespit edilir.)

Kütle betonlarında, büyük hacimli bileşenlerle, başlangıç sertleşmesi normal olan N-tipi çimentolar veya duruma göre düşük hidratasyon ısısına sahip NW-tipi çimentoları avantajlı olabilir.

Agrega (Taş Taneleri) ve Katkı Malzemeleri

Ağır ve radyasyondan koruma betonlarında kullanılabilen agrega (taş taneleri) ve ilave bileşenler hakkında genel bilgiler Çizelge 2'de gösterilmektedir.

Kurşun ve kurşun içeren kayalar çimento hamuru ile yapışma davranışlarında yeterli bir bağ oluşturmadığı ve betonda bozukluklara neden olduğundan beton için uygun değildir.

Dolu/boşluksuz agrega taneleri tercih edilmelidir.

Uygun bir işlenebilirlik ve yüksek bir beton yoğunluğu için tane dağılımı, mümkün olduğunca A/B gradasyon eğrileri arasındaki bölgede seçilmelidir.

Teslim edilen agregalar beton yapısında alışagelmış davranışlar göstermemesi halinde, beton karışımında daha az taş unu/filler malzeme içeren bir tane kompozisyonunun uygun olduğu kanıtlanmıştır (Çizelge 3).

Agregalar (taş taneleri) DIN 4226 Standardı gerekliliklerine uygun olmalıdır.

Ağır agregalar (ağır taş taneleri) DIN 4226'ya göre kalite kontrolüne tabi olmayan (uygunluk belgesi olmayan) tedarikçilerden satın alınması halinde, imalatçı agrega gradasyonuna ilişkin bağlayıcı beyanlarda bulunmalı ve agreganın homojenitesi ve uygunluğunu uzman laboratuvarlarının analizleri ile sağlamak zorundadır.

Yalnız aşağıdaki temel şartları sağlayan ağır agregalar kullanılabilir:

- Gerekli olan tane bileşimi, tane yoğunluğu, kristal su içeriği ve kimyasal bileşimi sağlanmalıdır.

-Agregalar (taş taneleri) niteliğinden dolayı betonun mukavemetini ve geçirimsizliğini tehlikeye atmamalıdır.

* Bk. önsöz paragraf 4

- Agreganın (taş tanesinin) depolanması, betonun karıştırılması ve işlenmesinden kaynaklanan aşınma değeri düşük olmalı,

- Agreganın (taş tanesinin) yüzeysel durumu harç veya betonun yapışmasını azaltmamalıdır,

- Agregalar (taş tanesi) betona zarar veren ve çelik donatı için zararlı herhangi bir bileşen içermemelidir.

- Minimum basınç dayanımı değeri (deneysel sonuç olarak), 80 N/mm² olmalıdır.

Standartlaşmış veya kabul edilmiş ilave bileşenler kullanılabilir.

Kimyasal Katkılar

Sadece standartlara uygun veya onaylanmış katkı maddeleri kullanılmalıdır.

Katkı maddeleri ve ağır agregalar (ağır taş taneleri) arasındaki reaksiyonlar göz ardı edilemeyeceğinden, özellikle katılaşma ve sertleşmenin değişmesiyle ilgili uzun süreli uygunluk testleri yapılmalıdır. Plastikleştiriciler, akışkanlaştırıcılar ve geciktiricilerle ağır doğal agregaların (ağır doğal taş tanelerinin) betonarmeye zararlı reaksiyonları henüz bilinmemektedir.

Beton Çelik Çubukları

Esas olarak DIN 488'e göre tüm beton çelik çubukları uygundur. Dinamik yüklerden (darbe, patlama) gelen yükler için kopmada uzama ve ters eğilme davranışı için ilave gereksinimler aranabilir.

2. Beton Bileşimi

İzin Verilen Bağlı Su (Madde) içeriği

Çimento hamuru ve agregalara (taş tanelerine) su bağlanması hakkında genel geçerli bilgiler şu an mevcut değildir.

Çizelge- 4 çeşitli depolama ve çalışma koşulları altında varsayılacak çimento hamurunun kimyasal olarak bağlı su içeriğinin bir gösterimi verilmektedir.

Daha detaylı açıklamalar her durumda uygun kompleks deneysel araştırmalar gerektirir.

Agregaların (taş tanelerinin) izin verilen kristal su içeriği, normal iklim koşullarında Çizelge 2'de gösterilmektedir.

80°C'nin üzerindeki çalışma sıcaklıklarında agregalar (taş taneleri) sıcaklık ve sıcaklığa maruz kalma süresine bağlı olarak dehidrate (sıvı kaybı) olur.

Genel olarak limonit içeren agregalar (taş taneleri) 150 °C,

serpantin içeren agregalar (taş taneleri) ise 350 °C çalışma sıcaklığına kadar yüksek kristal su içeriğini tutarlar.

Yoğunluk

Karışım tasarımı için belirleyici olan nihai beton yoğunluğu ρ_b (ρ_c) üretim ile ilgili varyasyonların dikkate alınarak belirli bir taze beton ham yoğunluğu $\rho_{b,h}$ ($\rho_{c,h}$) tespit edilmesiyle geçerli olabilir.

$$\rho_{b,h} = \rho_b + 1,645 \cdot s + w - w_{zs}$$

Ön tahminler için $s = 0,01 \cdot \rho_b$ olarak ayarlanabilir.

Basınç Dayanımı

Ağır ve radyasyondan koruma betonları, normal/bilinen B 25 ve B 35 (C 20/25, C 25/30 ve C 30/37) beton basınç dayanım sınıfları ve yukarıda tanımlanan agregalarla (taş taneleri ile) güvenilir bir şekilde elde edilebilir.

Beton basınç dayanımını etkileyen başlıca faktörler, normal betondakine benzer olup, su / çimento oranı (w / c), çimento mukavemeti ve sıkıştırma esnasında oluşan hava boşluğu içeriğidir.

Yapay ve kristal su içeren hidratlı agregaların (taş tanelerinin) kullanıldığı betonlarla, normal betonlardaki sertleşme süresi karşılaştırıldığında sapmalar meydana gelebilir.

Taze Beton Özellikleri

İyi bir sıkıştırma olsa bile oluşmasından kaçınılamayan taze beton gözenek hacmi, hacimce % 1,5 civarındadır; Kristal su içeren yapay/kırma agregaların (endüstriyel olarak üretilen, ağır taş tanelerinin) kullanılması hâlinde, gözenek hacmi, hacimce % 3'ün üzerine çıkabilir.

Belirli bir kıvam için gereken su içeriği, yaklaşık normal betondakine benzerdir;

Kristal su içeren suni agregalarda (endüstriyel olarak üretilen, ağır taş tanelerinde) sapmalar mümkündür.

Su içeriği mümkün olduğunca düşük tutulmalı, aksi takdirde beton yoğunluğu azalır, betonda büzülme ve çatlamayı kolaylaştırır.

Yumuşak ve akıcı kıvamda ve farklı yoğunluklardaki agregalar (taş taneleri) ile oluşturulan beton karışımlarında ayrışma/segregasyon riski vardır.

Karışım Tasarımı

Normal betonunu bilinen malzeme hacim ilişkileri farklı agrega (taş tanesi) yoğunluklarında dikkate alınarak uygulanmalıdır.

Açıklama aşağıdaki örnekte gösterilmiştir.

• Gerekli özellikler:

B 25 (C20 / 25), içyapı bileşenlerde kullanılan (XC1)

$$\rho_b = 3200 \text{ kg/m}^3$$

Tutarlılık/Kıvam KP (C2, F2)

Taze Beton boşluk oranı p = hacimce % 2,0

Çalışma sıcaklığı $< 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

• Kullanılabilir maddeler:

Çimento CEM III / B 32,5N - NW, $\rho_z = 3000\text{ kg/m}^3$ ile

Ağır agregaya ile $\rho_{g1} = 4200\text{ kg/m}^3$

Normal agregaya ile $\rho_{g2} = 2700\text{ kg/m}^3$

• $w / z = 0,59$ WALZ Diyagramı'na göre belirlenir:

$w = 165\text{ kg/m}^3$

$z = 280\text{ kg/m}^3$

• Agreganın hacimsel yüzdesi:

$V_g = 1 - z / \rho_z - w / 1000 - p$

$V_g = (1 - 280/3000 - 165/1000 - 0,02)\text{ m}^3/\text{m}^3$

$V_g = 0,72\text{ m}^3 / \text{m}^3$

• Taze beton yoğunluğu dikkate alınarak bulunan agregaya kütlesi:

$\rho_{b,h} = \rho_b + 1,645 s + w - w_{zs}$

$\rho_{b,h} = 3200 + 1,645 \times 0,01 \times 3200 + 165 - (0,2 \times 280 + 30)$

$\rho_{b,h} = 3331,6\text{ kg} / \text{m}^3$

$g = \rho_{b,h} \cdot z - w$

$g = 3331,6 - 280 - 165$

$g = 2886,6\text{ kg/m}^3$

• Her iki eşitlik ile iki agreganın toplam agregaya kütlesindeki dağılımı:

$g = g_1 + g_2$

$V_g = g_1 / \rho_{g1} + g_2 / \rho_{g2}$

$g_1 = (V_g \cdot \rho_{g1} \cdot \rho_{g2} - g \cdot \rho_{g1}) / (\rho_{g2} - \rho_{g1})$

$g_1 = (0,72 \times 4200 \times 2700 - 2886,6 \times 4200) / (2700 - 4200)$

$g_1 = 2639,2\text{ kg/m}^3$

$g_2 = g - g_1 = 2886,6 - 2639,2$

$g_2 = 247,3\text{ kg/m}^3$

Agregalar, sadece arzu edilen gradasyon eğrisine göre tane sınıflarına bölünür. Referans değerleri, hâlihazırda yapı bileşenlerinde uygulanmış karışım reçeteleri ile sağlanır (Çizelge 5).

3.İmalat ve İşleme

Kalıp ve İskele

Taze beton yoğunluğu arttırıldığında, kalıp ve iskele buna uygun olacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Sızdırmazlık için bağlantı deliklerinin radyasyona karşı koruma harcı ile kapatmak genellikle problemlidir olduğundan kayıp ankraj deliğinde kaybolan kalıp bağlantılarının kullanılması avantajlıdır

Kalıp bağlantı ve ara parçalarının uygunluğu kanıtlanmalıdır.

Çizelge 5: Ağır Beton Reçeteleri İçin Örnekler (Pratik Örnekler)

Kullanılışı	Birimler	Hastane Radyasyon Terapisinde	Hastane Radyasyon Terapisinde	Balast Betonlarında
Beton Dayanım Sınıfı		B 25(C 20/25)	B35(C 30/37)	B 25(C 20/25)
İstenen kuru birim ağırlığı	kg/m ³	≥ 3200	≥ 3400	≥ 4200
Çimento türü ve dayanım sınıfı	kg/m ³	CEM I 32,5 R	CEM III/B 32,5 N-NW	CEM III/B 32,5 N-NW
Çimento miktarı		280	370	300
Uçucu kül miktarı	kg/m ³	50	-	-
Agregaya miktarı (taş tane sınıfı miktarı)				
Kum 0/4	kg/m ³	-	-	-
Çakıl 4/8	kg/m ³	-	-	-
Çakıl 8/16	kg/m ³	125	-	-
Barit 0/16	kg/m ³	2640	2800	-
Hematit 0/16	kg/m ³	-	-	2860
Demir granülü 4/8	kg/m ³	-	-	940
Plastikleştirici katkı	kg/m ³	2,5	2	1,5
Su/çimento değeri w/z	-	0,55	0,51	0,56
Kıvam		KP (C2, F2)	KP/KR (C 2/C 3, F 2/F 3)	KP/KR (C 2/C 3, F 2/F 3)
28 günlük Beton Basınç Dayanımı	N/mm ²	39	44	40

Agregaların (Taş Tanelerinin) Depolanması

Farklı boyuttaki agregaların (taş tanelerinin) birbiriyle karıştırılmasında, uygun olmayan yabancı maddeler kullanılmamalıdır. Demir içeren agregalar (taş taneleri) kuru olarak depolanmalıdır. Hafif bir paslanma etkisi zararsızdır.

Dozajlama ve Karıştırma

Karışımın tüm bileşenleri kütle (ağırlık) ile ölçülür; Agregası (taş tanesi) nemi içeriği dikkate alınmalıdır. Ağır beton dökümünde, ağır beton yoğunluğu, normal beton yoğunluğuna (2400 kg/m³) göre orantılanarak mikserle doldurulan malzeme miktarı düşürülmelidir.

Gerekli karıştırma süresi, ön testlerde belirlenerek hem homojenliği sağlanır hem de ağır agregaların (ağır taş tanelerinin) aşırı aşınması önlenir (genellikle 1 ila 2 dakika).

Hazır Beton

Çok farklı tane yoğunluklarına sahip agregalar (taş taneleri) kullanıldığında, ayrışmaya bağlı zorluklar yaşanması mümkündür. Betonun karıldığı mikser ve betonu taşıyan transmikser, kamyon vb. araçlar için izin verilen yük taşıma kapasitesine dikkat edilmelidir.

Taşıma, Dökülme, Sıkıştırma

Ağır betonun yerleştirilmesi çoğunlukla kova veya konveyör bantlarla yapılır. Beton pompalar kullanılırken, gerekli taze beton özelliklerinden dolayı problemler ortaya çıkabilir. Şantiye koşullarında yapılan işleme denemelerinden bilgi sağlanabilir. Farklı agregası (taş tanesi) yoğunluklarında ayrışma sorunundan kaçınmak için serbest düşme yüksekliği mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Katmanlı beton dökümü işi için, katman kalınlıkları yaklaşık 25 cm kabul edilmiştir.

Boru girişleri veya düzensiz girintilere sahip alışılagelmiş yapı bileşeni dışındaki boyutlarında, agregaları önceden yerleştirilmiş prepakt beton döküm yöntemi kendini kanıtlamış olup daha başarılı olmuştur. Malzeme ve teknolojik açıdan, prepakt beton yönteminde [paketlenmiş agregası (paketlenmiş taş tanesi) boyutları ≥ 32 mm, harç agregası(harç taşı tanesi) boyutları ≤ 4 mm] olan genel kurallar geçerlidir.

Eğer agregalar (taş taneleri) örneğin çelik atığı/hurdası gibi çok farklı yoğunluklardaki malzemeler ile birlikte kullanılması hâlinde büyük ağır taş parçalarının her bir harç katmanında ayrı ayrı sıkıştırılması uygun olacaktır.

İç vibratör kullanımında, öncelikle DIN 4235'e göre yüksek santirifüj kuvvetine sahip olanlar kullanılmalıdır. Ağır betonda yerleştirme çabası diğer betonlara nazaran yüksektir. Sarsıntı mesafeleri, daldırma derinliği ve titreşim süresi, ön testlerin uygun olması koşuluyla mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır.

Harici vibratörler için sınırlı etki derinliği dikkate alınmalıdır.

Yeniden sıkıştırmanın olumlu bir etkisi vardır.

Radyasyon koruma betonlarındaki koruma kalitesinin etkinliği kusur olarak sorgulanabilir.

İnşaat Derzleri

İnşaat derzlerinden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. İş kesintileri gerekiyorsa, inşaat derzleri düşük radyasyon yoğunluğuna sahip alanlarda planlanmalı ve örneğin lamba zıvana gibi binili veya bir dikey düzeneklerde düzenlenmelidir. Eski beton yüzeyi, iri agregası (iri taş tanesi) açığa çıkana kadar basınçlı bir su püskürtülerek temizlenir.

Durağan su birikintisi, yağsız basınçlı hava ile uzaklaştırılmalıdır. Beton yüzeyi sonraki beton üretimi öncesinde sadece hafif nemli olmalıdır.

Bakımı, Kürü

Radyasyondan korunma betonunda çatlaklardan kaçınmak için kesintisiz ve özel dikkatle bakımı ve kürü yapılmalıdır.

İlke olarak, bakım ve onarım sonrasında süre kayıtsız şartsız uzatılsa da bu konuda esas olarak DAfStb/Alman Betonarme Komitesinin (veya DIN 1045-3: 2001) "Betonların kürü ve bakımı için talimat"ı geçerlidir. (örneğin, en az 14 gün nemli kalmalı).

Kütleli beton yapı bileşenlerinde, sıcaklık gerilmelerinden korunmak için ısı yalıtkan şilte / örtüler faydalı olabilir.

4. Kalite Kontrolü (Uygunluk ve Kontrol Belgesi)

Radyasyona karşı koruma sağlayan beton, DIN 1045'e göre B II betonu olarak üretilir ve DIN 1084 uyarınca kontrol edilir. (Radyasyon koruma betonları için Uygunluk Belgesi DIN EN 206-1: 2001 ve DIN 1045-2: 2001'e uygun olmalıdır.)

Yapı denetimi ve kontrolünde DIN 1045-3: 2001'e göre gözetim sınıfı 2 veya 3'teki yüksek mukavemetli betonlara göre denetlenir.

Buna ek olarak, kendi kendini izleme (denetleme) yoluyla aşağıdaki karakteristik değerleri ispatlamalıdır:

- Agregaların (taş tanelerinin) tane yoğunluğu ve gerektiğinde kimyasal bileşimi ve kristal su içeriği,
- Taze ve sertleştirilmiş beton yoğunluğu.

Deney sıklığı ve öngörülebilirliği anlaşmaya bağlıdır. Betonun radyasyondan koruyucu etkisi ortalama geçen radyasyon ile test edilebilecektir.

5. Betonun Radyoaktif Işımaya Karşı Direnci

Radyoaktif ışın absorpsiyonu ile beton sıcaklığı güçlü bir şekilde artabilir;

Betonun 100°C ila 250°C arasındaki sıcaklıklarda ısınmadan dolayı kurumasına (su kaybına) ek olarak, beton, % 20 ila % 25 oranında mukavemet kaybına neden olur.

Mevcut bilgilere göre, 10¹⁹ nötron/cm² den fazla akıcılık derecesine sahip nötron radyasyonu veya 2·10¹⁴ J/g 'ın üstünde bir dozda gama radyasyonu, betonun mekanik özelliklerinde (mukavemet, elastikiyet modülü, termal genişleme katsayısı) bozulmaya neden olabilir.

Bu tür radyasyon şiddetine reaktör basınçlı kaplarında maruz kalınır. Binanın hesaplanması veya yapısal tasarımında bu faktörlerin dikkate alınmasına ek olarak, özellikle radyasyona dayanıklı agregalar (taş taneleri) seçilmelidir.

6. Ağır Beton Kâgir Duvar

Yerinde dökme beton duvarlara alternatif olarak, ağır beton dan kâgir duvarlar yapılabilir.

Taş duvar yapılarının enjeksiyonu, harç türü MG III olan çimento harcı ile yapılır.

Radyasyon korumalı kâgir duvarlarda taşlar ve harçlar aynı kuru yığın yoğunluğuna sahip olmalıdır.

Sıvalar da radyasyondan koruma etkili kullanılabilir.

7. Kaplamalar

Radyasyona maruz kalan bileşenler için ağırlıklı olarak solvent esaslı veya suyla emülsiyon haline getirilebilir epoksi reçineler ve poliüretanlar kullanılarak radyasyon direnci ve dekontaminasyonu hakkında özel talepler yerine getirilir.

DIN 55 991 Standardı test yöntemleri ve gereksinimlerini içerir.

8. Hukuki Dayanaklar

8.1.1987 (BGB I, S. 114) tarihli (Röntgen Yönetmeliği) X-ışınları Hasarına Karşı Korunma Yönetmeliği, en son 1996'da değiştirildi (BGB I, S. 1172).

30.6.1989 (BGB I, S. 1321), "İyonlaştırıcı Radyasyon Hasarına Karşı Korunma Yönetmeliği" (Radyasyon Koruma Yönetmeliği), en son 1997'de değiştirildi (BGB I, S. 2113).

9. Beton Yapılar için Standartlar

[1] DIN 1045: Beton ve Betonarme, Tasarım ve Uygulaması Baskı 7. 1988

[2] DIN EN 206-1: Beton - Bölüm 1: Özellikler, Üretim ve Uygulama Gösterimleri

gunluk Özellikleri, Baskı 7, 2001

[3] DIN 1045-2: Beton, Betonarme ve Öngerilmeli Betondan Yapılmış Yapılar. Bölüm 2: Betonun İmalatı ve Uygunluk Belirleme Özellikleri, DIN EN 206-1 için Uygulama Kuralları, Baskı 7, 2001

[4] DIN 1045-3 Beton, Betonarme ve Öngerilmeli Betondan Yapılmış Yapılar- Bölüm 3: Yapı uygulaması, baskı 7, 2001

[5] DIN 4226: Beton Agregaları, Bölüm 1: Yoğun Yapılı. Terimler, Açıklama ve Şartlar Baskı 4, 1983

[6] DIN 4226-1: Beton ve Harç için Agregalar. Bölüm 1: Normal ve Ağır taş taneleri, Baskı 7, 2001

[7] DIN EN 197-1: Çimento - Bölüm 1: Bileşimi, Gereksinimler, Normal Çimentonun Uygunluk Kriterleri Baskı 2, 2001

[8] DIN 1164: Özel Özelliklere Sahip Çimento, Bileşenler, Gereksinimler, Uygunluk Belgesi, Baskı 11, 2000

10. Radyasyondan Korunma Standartları

(Parantez içinde verilenler standardın ana içeriği ile beton hakkındaki referansdır)

DIN 6804: Radyasyondan Korunma Kuralları - Tıbbi Kurumlarda Kapalı Radyoaktif Preparatlar (Gama radyasyonunda zayıflama derecesi)

DIN 6812: 300 kV'a kadar Tıbbi Röntgen Cihazları - Kurulumu için Radyasyon Koruma Kuralları (Röntgen ışınları için gerekli koruyucu kalınlıklar, kurşun eşdeğerleri)

DIN 6814: Radyolojik Teknoloji İçindeki Terimler ve Tanımlar

DIN 6815: 300 kV'a kadar Tıbbi Röntgen Sistemleri İnşaat, Onarım, Modifikasyon Sonrası Radyasyon Korumasının Test Edilmesi için Kurallar (Test yöntemi)

DIN 6844: Nükleer Tıp Şirketleri - Kurulum ve Ekipman Kuralları (Radyonüklitlerde zayıflama dereceleri)

İşaretler	Boyutlar	Anlamı
g_i	kg/m^3	Agreganın (<i>taş tanelerinin</i>) oranı
p	m^3/m^3	Taze betonun hava oranı
s	kg/m^3	Standart sapma
V_g	m^3/m^3	Agreganın (<i>taş tanelerinin</i>) hacimsel oranı
w	kg/m^3	Betondaki su miktarı
w_{zs}	kg/m^3	Çimento hamurundaki bağlı kristal su içeriği
z	kg/m^3	Çimento oranı
α	-	Çimento hamuruna bağlı kristal su karakteristik faktör değeri
ρ_b (ρ_c)	kg/m^3	Sert beton yoğunluğu
$\rho_{b,h}$ ($\rho_{c,h}$)	kg/m^3	Taze beton yoğunluğu
ρ_{gi}	kg/m^3	Agreganın (<i>taş tanelerinin</i>) yoğunluğu
ρ_z	kg/m^3	Çimento gerçek yoğunluğu
w/z	-	Su/çimento oranı

- DIN 6845: X-Işını ve Gama Işını için Radyasyondan Korunma Malzemelerinin Test Edilmesi (Test yöntemi)
- DIN 6846: Medikal Gama Işınlama Sistemleri - Üretim ve Kurulumu için Radyasyon Koruma Kuralları (Gama radyasyonunda zayıflama derecesi)
- DIN 6847, Bölüm 2: Medikal Elektronik Hızlandırıcı Kurulumlar - Kurulum için Radyasyon Koruma Kuralları (X ışını radyasyonunda onda kalınlık)
- DIN 25 401: Nükleer Teknoloji - Kavramlar
- DIN 25413: Yapı Elemanı Bölümlerine Göre Koruma Betonlarının Sınıflandırılması (Gamma ve nötron radyasyonu koruyucu etkilerinin tasarımı için betonda başlangıç malzemelerinin hacim fraksiyonları)
- DIN 54115: Kapalı Radyoaktif Maddelerin Teknik Kullanımları için Radyasyon Koruma Kuralları
- DIN 55 991: Kaplama Malzemeleri: Nükleer Tesisler için Kaplamalar

11. Kaynaklar

- Wandschneider, R. ; Pick, R.: "Betonlar, Duvarcılık, Şap ve Sıvada, Radyasyondan Koruma Teknikleri", Beton Bilgileri 22 (1982) H. 5, S. 47-50, Beton-Verlag, Düsseldorf, Almanya
- Manns, W. : "Radyasyondan Korunma Betonu (Ağır Agregası)", Çimento Cep Kitabı 1974/75, Sayfa 172-181, Bauverlag Berlin, Wiesbaden
- Herrmann, K. : "Ağır Beton. Çimento Bülteni, Teknik Araştırma ve İsviçre Çimento Endüstrisi Danışma Merkezi", Wildeg 46 (1996), Sayı 12
- Hilsdorf, H. ; Kropp, J. ; Koch, H.-J. : "Betonun Mekanik Özellikleri Üzerindeki Radyasyon Etkileri", Alman Betonarme Komitesi, Heft 261, Yayınevi Ernst & Sohn, Berlin 1976
- Reiter, E. : "Yapısal Radyasyon Korumasının Esasları, İnşaat Planlaması - Yapısal Mühendislik", Berlin 26 (1972) H. 6, Sayfa 281-284
- Reiter, E. : "Yapısal Radyasyon Korumasının Ekonomisi ve Üretimi
İnşaat Planlaması - Yapısal Mühendislik", Berlin 26 (1972) H. 11, S. 550-553
Radyasyondan Korunma Betonları. Alman Beton Birliği Broşürü, Wiesbaden, 1996