

# ➤ MÓDSZERTAN A NUKLEÁRIS LÉTESÍTMÉNYEKBEN ALKALMAZOTT BETONOK BÓRSAVVAL ÉS EMELT HŐMÉRSÉKLETTEL SZEMBENI ELLENÁLLÁSÁNAK VIZSGÁLATÁRA

2\_2024. ÉPMI (v1\_2024. IX. 12)



ÉPÍTÉSÜGYI MŰSZAKI IRÁNYELV



SZÉCHENYI 2020



MAGYARORSZÁG  
KORMÁNYA

Európai Unió  
Európai Szociális  
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

# ELŐSZÓ

Az építőipar fejlődésével, az építésügyi szabályozási környezet folyamatos változásával az építési és üzemeltetési folyamat szereplőire egyre összetettebb feladatok hárulnak. Ezen feladatok ellátása - a szakmai ismereteken túl - nagymértékben a hatályos jogszabályok, valamint a szabványok alkalmazásán alapul.

Az építési és üzemeltetési folyamat szereplőinek napi munkájához az építésügyi műszaki irányelvek gyakorlati segítséget nyújtanak.

Bízunk abban, hogy az újjáélesztett és az építési, majd az építészetről szóló törvényben szabályozott építésügyi műszaki irányelvek az építésügy minden területén fontos eszközeivé válnak a minőség biztosításának, és ez által a gazdaság fejlődésére hosszútávú hatást gyakorolnak.

Az építésügyi műszaki irányelv az építésügyi szereplőket, az építőipart támogató olyan önkéntesen alkalmazható szabályozási eszköz, amely hatékonyan és gyorsan tud válaszolni az iparág külső és belső műszaki, valamint gazdasági kihívásaira.

Az építésügyi műszaki irányelv lényegében módszertan arra, hogy az elvárásokat, követelményeket hogyan lehet hatékonyan teljesíteni mindazon területeken, ahol jogszabály, szabvány nem ad, vagy nem teljeskörűen ad útmutatást, illetve minden olyan esetben, ahol több szabványt, szabályt kell egyidejűleg alkalmazni.

Az építésügyi műszaki irányelv főbb jellemzői:

- ▶ szakmaiság, közérthetőség;
- ▶ tömörség, könnyen kezelhetőség;
- ▶ egységes tartalmi és formai rend;
- ▶ rendszerezettség;
- ▶ mindenki számára biztosított hozzáférés. Az építésügyi műszaki irányelvek alkalmazása önkéntes. Azonban abban az esetben, ha műszaki tartalmú jogszabályban, szerződésben, illetve ezek mellékleteiben kerül rögzítésre, úgy az kötelező érvényű.

Az építésügyi műszaki irányelvek elfogadását széles körű szakmai egyeztetés előzi meg, annak érdekében, hogy a bennük foglaltak szakmai konszenzuson alapuljanak.

Ezúton szeretnénk megköszönni az előkészítésében résztvevő szakemberek lelkiismeretes és áldozatos munkáját, amely nélkül jelen építésügyi műszaki irányelv nem jöhetett volna létre.

Szintén köszönettel tartozunk az állami szervezetek támogató anyagi és szakmai közreműködéséért.

Külön köszönet mindazon szakmai szervezeteknek és munkatársaiknak, akik munkájukkal segítették az építésügyi műszaki irányelv létrehozását.

*ÉMSZB Titkársága*

# TARTALOMJEGYZÉK

<u>ELŐSZÓ</u> . . . . .	2
<b>1. ALKALMAZÁSI TERÜLET</b> . . . . .	4
<b>2. ÁLTALÁNOS TUDNIVALÓK</b> . . . . .	4
2.1. Érintett szerkezetek . . . . .	4
2.2. Bórsav . . . . .	4
2.3. Emelt hőmérséklet . . . . .	4
<b>3. FOGALOMMEGHATÁROZÁSOK</b> . . . . .	5
3.1. CT (komputer tomográfia) vizsgálatokkal kapcsolatos fogalmak . . . . .	5
3.2. Derivatográfós vizsgálatokkal kapcsolatos fogalmak . . . . .	6
3.3. Elektronmikroszkópos vizsgálatokkal kapcsolatos fogalmak . . . . .	7
3.4. Betonnal és betonösszetevőkkel kapcsolatos alapfogalmak . . . . .	7
<b>4. ALKALMAZANDÓ MÓDSZEREK, ELJÁRÁSOK</b> . . . . .	10
4.1. A bórsavas hatásvizsgálat leírása . . . . .	10
4.2. Emelt hőmérsékletes hatásvizsgálat . . . . .	12
4.3. Mikrostruktúra és anyagiösszetétel elemzésére szolgáló eljárások . . . . .	15
<b>5. HIVATKOZOTT ÉS FELHASZNÁLT DOKUMENTUMOK</b> . . . . .	21
5.1. Hivatkozott dokumentumok . . . . .	21
5.2. Az irányelvhez kapcsolódó releváns források . . . . .	21
5.2.1. Jogszabály . . . . .	21
5.2.2. Szakirodalom . . . . .	22

## 1. ALKALMAZÁSI TERÜLET

A jelen építésügyi műszaki irányelv a nukleáris létesítményekben alkalmazott betonok bórsavval és emelt hőmérséklettel szembeni viselkedésének vizsgálatára és elemzésére szolgáló célszerű és gyakorlatias módszert ismerteti.

Az építésügyi műszaki irányelv kidolgozásának célja, hogy az új nukleáris létesítmények különleges betonjainak tervezéséhez már kész eljárásrend és vizsgálati módszer álljon rendelkezésre.

Ezen építésügyi műszaki irányelv jelentős mértékben támaszkodik az ÉMI Nkft. által az Innovációs és Technológiai Minisztérium jogutódja az Építési és Közlekedési Minisztérium által finanszírozott STFO/177/2020\_ITM\_SZERZ azonosítójú kutatás projekt eredményeire és annak keretében készített tanulmányokra.

Az építésügyi műszaki irányelvnek nem tárgya a dekontaminálható felületek és bevonatok vizsgálati és értékelési módszereinek ismertetése.

## 2. ÁLTALÁNOS TUDNIVALÓK

### 2.1. Érintett szerkezetek

Az építésügyi műszaki irányelv nukleáris létesítmények beton, vasbeton szerkezeteire vonatkozik. A nukleáris létesítmények egyes szerkezeteivel szemben különleges elvárásokat támasztunk, tekintettel arra, hogy speciális hatások érik (bórsav, emelt hőmérséklet, sugárzás és ezek kombinációi).

*MEGJEGYZÉS: Szakirodalmi adatok szerint a várható mértékű neutron és röntgensugárzás a nukleáris létesítmények élettartama alatt (például atomerőművekben) nem befolyásolja jelentős mértékben a kitett betonok szilárdságát, szemben az emelt hőmérséklet és a bórsav hatásával.*

### 2.2. Bórsav

A bórsav (INN: boric acid) (ortobórsav vagy acidum boricum, vagy közönséges bórsav  $H_3BO_3$ ) egy gyenge sav. Vegyiparban alapanyag. Fehér por, vízben oldódik. Ásványa a szasszolit. Az üzemeltetés sajátosságából eredendően a nukleáris létesítményekben bórsavas hatás is érheti a betont.

### 2.3. Emelt hőmérséklet

Az üzemeltetés sajátosságából eredendően a nukleáris létesítmények beton, vasbeton szerkezeteinél az üzemi hőmérséklet és különösképpen az üzemzavari hőmérséklet jelentősen meghaladhatja a szerkezet-építésben megszokott hőmérsékleteket (> 70°C). Az üzemi hőmérséklet változása esetenként ciklikussággal is jellemezhető.

### 3.1. CT (komputer tomográfia) vizsgálatokkal kapcsolatos fogalmak

#### CT

A CT (*Computed Tomography*) a szakirodalomban gyakran számítógépes tomográfia néven ismeretes, amely a radiológiai diagnosztika egyik ága. A CT vizsgálat során transzverzális irányú, erősen kollimált (keskenyre blendézett) sugárnyalábbal körbesugarazva a testet és a mért sugárgyengüléseket négyzetes mátrixon feldolgozva, minden egyes képpont saját attenuációja (sugárelnyelése) számszerűen kiszámítható.

#### HU egység

A víz (0) és levegő (-1000) elnyelődéséhez viszonyított skála az abszorpciós értékeknek megfelelően (a legnagyobb mérhető denzitás: +3000 HU compacta).

#### Képmátrix

Elemi egysége a pixel (képelem), amely a mögötte lévő volumen (szeletvastagság) mért értékeit is hordozza: voxel (hasábformájú térfogatelem). A térbeli felbontás a két- még elkülöníthető- pont közötti legkisebb távolság. Az adatgyűjtés (projekciók) fokozásával a mérési mező (FOV) nagyságának és a szeletvastagságnak a csökkentésével növelhető.

#### Röntgensugárzás

A röntgensugárzás nagyenergiájú elektromágneses sugárzás, amelynek hullámhossza a néhányszor 10 nanométer és a néhányszor 10 pikométer közé esik. A határok nem szigorúak, de ennek megfelelően a frekvenciája nagyjából (30 PHz és 30 EHz ( $30 \times 10^{15}$  Hz és  $30 \times 10^{18}$  Hz) közötti. Legfontosabb felhasználási területei az orvostudomány és a kristálytan.

#### Sugárgyengítés

Azt a folyamatot, amelynek során az anyagon áthaladó fotonok száma folyamatosan csökken, sugárgyengítésnek, más néven attenuációnak hívjuk. A sugárgyengítés a röntgenfotonok és az anyag atomjainak kölcsönhatásaként írható le. Ez a kölcsönhatás függ attól, hogy egy foton mekkora energiával rendelkezik, illetve, hogy milyen anyagon hatol át. Adott esetben bizonyos fotonok kölcsönhatás nélkül hatolhatnak át egy anyagon, míg más, többnyire kisebb energiával rendelkező fotonok kölcsönhatásba lépnek az anyag atomjaival. Ezek a fotonok energiájuktól függően kölcsönhatásba léphetnek a teljes atommal, az atommaggal vagy valamely héjelektronnal. A CT diagnosztikában használatos energiaszintek esetében dominánsan a héj elektronokkal történő kölcsönhatás jellemző.

#### Sugárzás

A sugárzás az energiaátadás egyik módja, amelynek során a sugárzást kibocsátó fizikai rendszer energiát ad át környezetének, miközben belső energiájának egy része sugárzási energiává alakul át.

## Sugárzási intenzitás

A sugárzás intenzitás az egységnyi idő alatt kibocsátott energia.

### 3.2. Derivatográfus vizsgálatokkal kapcsolatos fogalmak

#### Derivatográfia

A derivatográfia olyan összetett termoanalitikai módszer, amellyel a vizsgált minta hevítése során bekövetkező átalakulásokat kísérő hőenergia- és tömegváltozások egy mintával egyidejűleg meghatározhatók. Az erre alkalmas készülék a derivatográf, amely a DTA-, TG-, T- és DTG-görbéket egy időben automatikusan veszi fel (<https://szte.org.hu>).

#### Derivatogram

DTA-, TG-, T- és DTG-görbék.

#### DTG

Derivált termogravimetriás görbe.

#### DTA

Differenciál termoanalízis görbe.

#### Exoterm

Hőtermelő folyamat.

#### Endoterm

Hőelnyelő folyamat.

#### T

Hőmérséklet görbe.

#### TG

Termogravimetriás görbe.

### 3.3. Elektronmikroszkópos vizsgálatokkal kapcsolatos fogalmak

#### Elektronmikroszkóp

Az elektronmikroszkóp egy olyan mikroszkóp, amely elektronnyalábot- nagy sebességre felgyorsított elektronokat- használ a megfigyelendő tárgy leképezésére. A hagyományos fénymikroszkópéhoz képest sokkal

jobb felbontása révén az elektronmikroszkópos felvételeken a sejten belüli részletek, de atomok kontúrjai, szabályos kristályrácsszerkezet körvonalai is megfigyelhetők.

### **Gyorsító feszültség**

Elektroncsőben valamely elektródára (anódra, gyorsítórácsra) kapcsolt, a katódból kilépő elektronokat gyorsító, pozitív feszültség.

### **Munkatávolság**

A munkatávolságot tárgytávolságnak is nevezik, amely a tárgylencse elülső lencséjének felülete és a vizsgálandó tárgy közötti távolságra utal.

### **Nagyítás**

A nagyítás az optikában kép és a tárgy hosszának, illetve ezek távolságának a hányadosa. Mérték, amely megmutatja, hogy egy optikai rendszer mennyire változtatja meg a tárgy méreteit a képképzés során.

### **SEM kép**

A nagyfelbontású elektronmikroszkóppal készült kép.

### **Vákuum**

A vákuum egy olyan adott téren belüli térfogat, amely elhanyagolható mennyiségű anyagot tartalmaz csak, így a benne lévő nyomás jóval alacsonyabb, mint a standard légnyomás.

## **3.4. Betonnal és betonösszetevőkkel kapcsolatos alapfogalmak**

### **Adalékanyag**

Természetes eredetű, mesterséges, visszanyert vagy újrahasznosított szemcsés ásványi alkotóelem, amely alkalmas a betonban való felhasználásra (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

### **Adalékszer**

Olyan alkotóanyag, amelyet beton keverési folyamata során a cement tömegéhez képest kis mennyiségben adagolnak a friss vagy szilárd beton tulajdonságainak módosítására (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

### **Benmaradt levegő**

A betonban lévő olyan levegő, amelyet nem szándékosan képeztek (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

### **Beton**

Cement, durva és finom adalékanyag, valamint víz összekeverésével készített anyag adalékszerekkel, kiegészítő anyagokkal, illetve szálakkal vagy azok nélkül és amelynek tulajdonságai hidratáció révén - a beton

összetételéből, a bedolgozástól, az utókezeléstől és a környezeti körülményekről függően - alakulnak ki (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

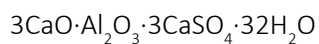
### **Cement**

Finomra őrölt szervesetlen anyag, amely vízzel megkeverve pépet képez, majd hidratációs reakciók és folyamatok révén víz alatt is köt és megszilárdul, a szilárdulást követően szilárdságát és térfogatállandóságát víz alatt is megtartja [Forrás: MSZ EN 197-1] (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

### **CSH**

Kalcium-szilikát-hidrát.

### **Ettringit**



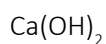
### **Friss beton**

Teljesen megkevert, olyan állapotban levő beton, amely a kiválasztott módszerrel még tömöríthető (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

### **Hidrátbeton**

A hidrátbeton olyan neutronsugárzás ellen védő betontípus, amely kis- és nagy rendszámú elemeket egyaránt tartalmaz. Legfontosabb jellemzője a kémiaiilag kötött víztartalom (hidrátvíz).

### **Kalcium hidroxid**



### **Képzett levegő**

A keverés alatt a betonban szándékosan, rendszerint felületaktív anyagok alkalmazásával képzett mikroszkopikus légbuborékok, amelyek gömb vagy közel gömb alakúak és átmérőjük jellegzetesen 10 mm és 300 mm között van (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

### **Kötőanyag (binder)**

Olyan anyag, amely a szemcséket összefüggő, egyfázisú szilárd anyaggá fogja össze, pl.: cement, építési mész (Forrás: MSZ 998-2:2017 [2]).

### **Nehéz adalékanyag**

Adalékanyag, amelynek kiszáritott állapotában az MSZ EN 1097-6 szabvány szerint meghatározott szemcse-testsűrűsége  $\geq 3000 \text{ kg/m}^3$  (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).



## Nehézbeton

A beton testsűrűsége alapján nehézbetonnak nevezzük a kiszárított állapotában 2600 kg/m<sup>3</sup>-nél nagyobb testsűrűségű betont (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

*MEGJEGYZÉS: Az MSZ 4798:2016/4M:2023 szabványban [3] megjelentek kifejezetten a nukleáris területen való felhasználás céljára új testsűrűségi osztályok a nehézbetonok számára.*

## Normál (szokványos) beton

A beton testsűrűsége alapján normál (szokványos) betonnak nevezzük a kiszárított állapotában 2000 kg/m<sup>3</sup>-nél nagyobb, de legfeljebb 2600 kg/m<sup>3</sup> testsűrűségű szilárd betont (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

## Szilárd beton

Szilárd állapotban lévő, bizonyos szilárdságot elért beton (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

## Víz/cement tényező

A friss betonban lévő hatékony víztartalomnak és a cementtartalomnak a tömeg szerinti aránya (Forrás: MSZ 4798:2016 [1]).

## Zsugorodás

A zsugorodás a szilárduló beton alakváltozása, amelynek altípusai korai vagy kapilláris zsugorodás, száradási, autogén, kémiai, illetve karbonátosodási zsugorodás.

## 4. ALKALMAZANDÓ MÓDSZEREK, ELJÁRÁSOK

### 4.1. A bórsavas hatásvizsgálat leírása

#### 4.1.1. Mintaelőkészítés

A bórsavas hatásvizsgálatra készített próbatestek méretére vonatkozó követelményeket az 1. táblázatban adjuk meg:

Próbatestek mérete	MSZ EN 12390-1:2021 [4]	A megszilárdult beton vizsgálata. 1. rész: A próbatestek és sablonok alak-, méret- és egyéb követelményei
Próbatestek készítése	MSZ EN 12390-2:2019 [5]	A megszilárdult beton vizsgálata. 2. rész: Szilárdságvizsgálati próbatestek készítése és tárolása

1. táblázat: A bórsavas hatásvizsgálatra készített próbatestek méretére vonatkozó követelmények

*MEGJEGYZÉS: Összetett szerkezetek vizsgálata (vasbeton, acéllemez burkolattal ellátott betonszerkezet stb.) esetén az egyéb alkalmazott anyagok vizsgálatára is szükség van.*

A szilárdságvizsgálathoz javasolt 3-3 db 150x150x50 mm-es próbatest készítése, a ciklussorozatok végén elvégzendő szilárdság és testsűrűség vizsgálatokhoz.

#### **4.1.2. Vizsgálati ciklusok**

- **alapadatok felvétele (60 °C-on kiszárított száraz próbatesten, első bórsavas kezelés előtt)**
  - ▶ környezeti hőmérséklet, páratartalomértékek rögzítése,
  - ▶ méretek felvétele,
  - ▶ tömegmérés,
  - ▶ a felső lap, azaz a bedolgozás irányának azonosítása,
  - ▶ fénykép készítése a 6 oldalról (sorrend: 1. fénykép a felső lapról; 2. fénykép a négy oldallapról úgy, hogy a felső lap balra néz; 3. fénykép az alsó lapról).
  
- **bórsavas kezelés (92 ± 4 óra, praktikusán hétfőn 12 órakor kezdve)**
  - ▶ bórsav oldat pH értékének, hőmérsékletének regisztrálása,
  - ▶ bórsavoldat készítése 50 g/l (az oldat legyen telített, az oldat alján legyen feloldatlan bórsav),
  - ▶ tömény (50 g/l) bórsavban áztatás laboratóriumi körülmények között (20 ± 2 °C).
  
- **savas kezelés után szikkadás (4 ± 0,5 óra, praktikusán pénteken 8-12 óráig)**
  - ▶ a próbatestek kiemelése az oldatból, szikkasztás háromszög léceken laboratóriumi körülmények között (20 ± 2 °C),
  - ▶ látható elváltozások esetében: a próbatest azonosítása, az elváltozás leírása, fénykép készítése,
  - ▶ bórsavoldat pH értékének, hőmérsékletének regisztrálása,
  - ▶ bórsavoldat telítettségének ellenőrzése (a tárolóedény alján legyen feloldatlan bórsav).
  
- **bórsavas hőmérsékleti öregítés (68 ± 3 óra, praktikusán pénteken 12 órakor elkezdve)**
  - ▶ a próbatestek laboratóriumi hőmérsékletű (20 ± 2 °C) szárítószekrénybe helyezése,
  - ▶ a hőmérséklet fokozatos emelése 110 °C-ra (2 órán keresztül),

▶ hőntartás (68 óra).

• **hűtés (4 ± 0,5 óra, praktikusán hétfőn 8 órakor elkezdve)**

- ▶ hőmérsékleti kezelés leállítása, 1. órában nyitott ajtónál visszahűtés,
- ▶ 1. óra után laboratóriumi hőmérsékleten további hűtés,
- ▶ látható elváltozások esetében: a próbatest azonosítása, az elváltozás leírása, fénykép készítése.

**A ciklusok javasolt száma 10, 20, 30 (hét).**

Az (előre meghatározott) ciklussorozatok után, a vizsgálatok megkezdése előtt a vizsgálatokra kijelölt próbatesteket tömegállandóságig ki kell szárítani.

**4.1.3. Fizikai vizsgálatok a bórsavas hatásvizsgálatot követően**

A bórsavas kezelés utáni vizsgálatok mátrixát a 2. táblázatban adjuk meg:

Vizsgált jellemző	Vizsgálati szabvány száma	Szabvány címe
<b>nyomószilárdság</b>	MSZ EN 12390-3:2019 [6]	A megszilárdult beton vizsgálata. 3. rész: A próbatestek nyomószilárdsága
<b>testsűrűség</b>	MSZ EN 12390-7:2019 [7]	A megszilárdult beton vizsgálata. 7.rész: A megszilárdult beton testsűrűsége
<b>bórsav-behatolás</b>	nem szabványos vizsgálat*	

2. táblázat: A bórsavas kezelés utáni vizsgálatok

*\*Az egyik lapjával párhuzamosan elhasított próbatest törési felületére fenolftalein oldatot permetezünk. A bórsav behatolással érintett betonkeresztmetszet színe nem változik lilára, így a bórsav behatolás mértéke a törési felület négy szélén tolmérővel meghatározható. A mérést az oldalak közepén kell elvégezni, a sarkok figyelmen kívül hagyásával. A négy mérési eredményt fel kell jegyezni és a kiértékelés során a legnagyobb értéket kell figyelembe venni.*

#### 4.1.4. A kiértékelés lehetőségei a bórsavas hatásvizsgálat után elvégzett fizikai vizsgálatot követően

Az egyes (előre meghatározott) ciklussorozatok (javasolt ciklusszám 10, 20, 30 db) után a 4.1.3. pontban leírt fizikai vizsgálatokat kell elvégezni. Többfajta anyagon végzett hatásvizsgálat esetén pl. minden 10. ciklus után végzett fizikai vizsgálatok, illetve a mikrostruktúra és az anyagi összetétel 4.3. pontban leírt vizsgálata képezheti az összehasonlítás alapját. Jelen ismereteink szerint már 10-20 ciklus elegendően agresszív hatást képez, amely szerint az egyes receptúrák teljesítménye, illetve viselkedése összehasonlíthatóvá válik.

## 4.2. Emelt hőmérsékletes hatásvizsgálat

### 4.2.1. Mintaelőkészítés

Az emelt hőmérséklet hatásvizsgálatra készített próbatestek méretére vonatkozó követelményeket a 3. táblázatban adjuk meg:

próbatestek mérete	MSZ EN 12390-1:2021 [4]	A megszilárdult beton vizsgálata. 1. rész: A próbatestek és sablonok alak-, méret- és egyéb követelményei
próbatestek készítése	MSZ EN 12390-2:2019 [5]	A megszilárdult beton vizsgálata. 2. rész: Szilárdságvizsgálati próbatestek készítése és tárolása

3. táblázat: Az emelt hőmérséklet hatásvizsgálatra készített próbatestek méretére vonatkozó követelmények

A szilárdságvizsgálathoz javasolt 3-3 db próbatest készítése, a kiindulási állapotra vonatkozó, illetve a ciklussorozatok végén elvégzendő szilárdság- és testsűrűség-vizsgálatokhoz. Célszerű többlet-próbatestek készítése és kezelése.

### 4.2.2. Vizsgálati ciklusok

#### „A” ciklus: Bórsav jelenléte nem kizárható

Abban az esetben, ahol különleges műszaki meghibásodás miatti kialakuló emelt hőmérséklet (200 °C) mellett bórsav jelenléte nem kizárható, az alábbi 1 napos vizsgálati ciklust javasoljuk:

#### Kezdés:

- ▶ Gyors felfűtés szobahőmérsékletre 200 °C-ra\*,
- ▶ Hőntartás 6 órán keresztül,
- ▶ Szobahőmérsékleten lassú lehűlési folyamat,

- ▶ Tömény bórsavoldatba helyezés 6 órán keresztül,
- ▶ Kockák letörlése,
- ▶ Szobahőmérsékleten tartás a következő ciklus kezdetéig.

**Javasolt ciklusszám: 10, 20, 30 (db).**

Az (előre meghatározott) ciklussorozatok után, a vizsgálatok megkezdése előtt a vizsgálatokra kijelölt próbatesteket tömegállandóságig ki kell szárítani.

*\* MEGJEGYZÉS: A 200 °C-os vizsgálati hőmérsékletet a hőforrás hőmérséklete és a meglévő atomerőmű üzemelési tapasztalatai alapján került megállapításra és jelentős ráhagyást tartalmaz a gyorsított öregítés érdekében. Konkrét adat birtokában a megadott érték pontosítható.*

**„B” ciklus: Bórsav jelenléte kizárható**

Abban az esetben, ahol különleges műszaki meghibásodás miatti kialakuló emelt hőmérséklet (200 °C) mellett bórsav jelenléte kizárható, az alábbi 1 napos vizsgálati ciklust javasoljuk:

**Kezdés:**

- ▶ Gyors felfűtés szobahőmérsékletéről 200 °C-ra\*,
- ▶ Hőntartás 6 órán keresztül,
- ▶ Szobahőmérsékleten lassú lehűlési folyamat,
- ▶ Szobahőmérsékleten tartás a következő ciklus kezdetéig.

**Javasolt ciklusszám: 10, 20, 30 (db).**

Az (előre meghatározott) ciklussorozatok után, a vizsgálatok megkezdése előtt a vizsgálatokra kijelölt próbatesteket tömegállandóságig ki kell szárítani.

*\* MEGJEGYZÉS: A 200°C-os vizsgálati hőmérsékletet a hőforrás hőmérséklete és a meglévő atomerőmű üzemelési tapasztalatai alapján került megállapításra és jelentős ráhagyást tartalmaz a gyorsított öregítés érdekében. Konkrét adat birtokában a megadott érték pontosítható.*

**„E” (egyedi) ciklus: Megbízó által megadott hőmérséklettel és vegyi hatással elvégzett hatásvizsgálati ciklus**

Az (előre meghatározott) ciklussorozatok után, a vizsgálatok megkezdése előtt a vizsgálatokra kijelölt próbatesteket tömegállandóságig ki kell szárítani.

### 4.2.3. Fizikai vizsgálatok (pl. kockaszilárdság)

Az emelt hőmérséklet utáni vizsgálati követelményeket a 4. táblázatban adjuk meg:

Vizsgált jellemző	Vizsgálati szabvány száma	Szabvány címe
nyomószilárdság	MSZ EN 12390-3:2019 [6]	A megszilárdult beton vizsgálata. 3. rész: A próbatestek nyomószilárdsága
testsűrűség	MSZ EN 12390-7:2019 [7]	A megszilárdult beton vizsgálata. 7. rész: A megszilárdult beton testsűrűsége

4. táblázat: Próbatesteken elvégzendő fizikai vizsgálatok

### 4.2.4. Kiértékelési lehetőségek az emelt hőmérséklet mellett végzett hatásvizsgálat és a fizikai vizsgálatot követően

Az egyes (előre meghatározott) ciklussorozatok (javasolt ciklusszám 10, 20, 30 db) után a 4.2.3. pontban leírt fizikai vizsgálatokat kell elvégezni. Többfajta anyagon végzett hatásvizsgálat esetén pl. minden 10. ciklus után végzett fizikai vizsgálatok, illetve a mikrostruktúra és az anyagi összetétel 4.3. pontban leírt vizsgálata képezheti az összehasonlítás alapját. Jelen ismereteink szerint már 10-20 ciklus elegendően agresszív hatást képez, amely szerint az egyes receptúrák teljesítménye, illetve viselkedése összehasonlíthatóvá válik.

## 4.3. Mikrostruktúra és anyagi összetétel elemzésére szolgáló eljárások

### 4.3.1. Derivatográfus vizsgálat

#### 4.3.1.1. Mintaelőkészítés

A betonból egy nagyobb méretű (a  $d_{max}$  kétszeresénél nagyobb) jellemző darabot kell kivenni. Ezt pormintává kell őrölni és egyenletes eloszlást biztosítva ebből kell mintát kivenni a méréshez.

#### 4.3.1.2. Vizsgálati elrendezés

**A derivatográfiai mérés paraméterei:**

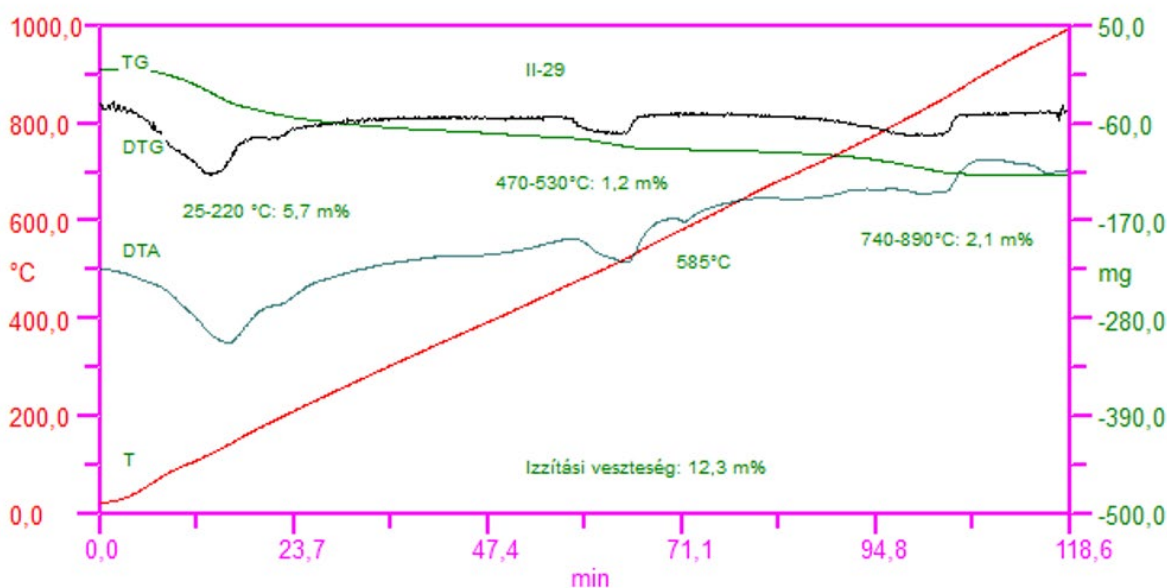
- ▶ referencia anyag: alumínium-oxid,
- ▶ felfűtési sebesség: 10 °C/perc,
- ▶ hőmérsékleti tartomány: 20- 1000 °C,

- ▶ bemért mintatömeg: 200 mg,
- ▶ TG-érzékenység: 50 mg.

A derivatográfias készülék korund tégelyébe pormintát kell kimérni (200 mg), majd a tégelyt a kemencébe kell helyezni. A mérést a megfelelő paraméterekkel el kell indítani. A mérési idő egy minta esetében jellemzően 2-3 óra.

#### 4.3.1.3. A kiértékelés lehetőségei

A derivatográfias vizsgálattal a hő hatására bekövetkezett változások meghatározása végezhető el. Beton esetén jól beazonosíthatók a különböző fázisváltozások és ezzel egyidejűleg mérhető a hozzájuk tartozó tömegvesztés, mint például az ettringit, a monoszulfát, a kalcium hidroxid és a kalciumszilikáthidrátok bomlása és az ahhoz tartozó mennyiségek is meghatározhatók. Ezzel a beton összetételére, illetve a különböző hatások miatt bekövetkező változásokra lehet következtetni. Az 1. ábrán egy betonra jellemző derivatogram látható:



1. ábra: Betonról készült derivatogram (példa)

#### 4.3.2. CT vizsgálat

##### 4.3.2.1. Mintaelőkészítés

Az alpmérés során nincs szükség különleges mintaelőkészítésre. A mérés során a CT berendezésbe elhelyezhető próbatest maximális méretét és tömegét is figyelembe kell venni. Orvosi CT esetén a vizsgálo berendezés belső átmérője maximum 45 cm, hosszlimitet annak a helyiségnek a mérete jelenti, ahol a CT berendezés található. Szabványos méretű betonkockák vizsgálatánál ez nem okoz nehézséget.

#### 4.3.2.2. Vizsgálati elrendezés

A betonpróbatesteket a CT berendezés vizsgálóasztalára kell helyezni. A mérést a CT berendezés típusának megfelelő paraméterekkel kell elvégezni. A mérési idő egy minta esetében jellemzően 10-15 perc, bonyolult minták vagy nagy pontossági igény esetén a mérés akár 1-2 óráig is tarthat.

Az egyes vizsgálatok során az alábbi mérés típusok alkalmazhatók. Az esetek 90 %-ban elegendő az alapmérés.

##### a) Alapmérések

A CT alapmérés során lehetőség van arra, hogy a beton struktúráját nagy felbontásban (0,1x0,1x1 mm-es pontossággal) lemérjük és a kapott háromdimenziós Hounsfield-érték eloszlás és kép alapján nagy részletességgel kiértékeljük. A mérés akkor is elvégezhető, ha a kőzetanyag laza, széteső volta miatt műanyag vagy alumínium védőtokban van (nagy sűrűségű fémeket nem szabad alkalmazni).

##### b) Feltöltéses - felszívásos mérések

Ezen mérési technológia során azonos pozíciójú megismételt alapmérést végzünk a vákuumozott mintán, felszívás közben és a telített mintán. Fontosabb feldolgozási és értelmezési lehetőségek:

- ▶ 3D-s (mérési cellára vonatkozó) effektív porozitás;
- ▶ 3D-s (mérési cellára vonatkozó) feltöltődési állapot (idősor);
- ▶ 3D-s (mérési cellára vonatkozó) oldódási (roncsolódási) állapot tömb (savas kezelések).

Nagy részletességű információt kapunk a fentiek alapján a vizsgált beton viselkedéséről a feltöltő folyadékra vonatkozóan. Egy bonyolult felépítésű struktúránál külön megadhatjuk a repedés, üreg és mátrix „környezetre” vonatkozó effektív térfogatokat és porozitást.

##### c) Áramlásos mérések

A mérőberendezés fontosabb részei a kizorító berendezés, a nagyteljesítményű komputertomográf és a számítógépes szoftver-hardver rendszer.

A berendezés központi egységei a magtartók, amelyekben a vizsgált mintatestek helyezkednek el. Anyaguk speciális, nem zavarja a CT mérés eredményét. A magtartó cellák a különböző méretű mintatestekhez és különböző vizsgálati paraméterekhez (vákuum, alacsony nyomás, szobahőmérséklet, nagy nyomás, magas hőmérséklet) készülnek.

Az áramlásos CT mérés során az előzetesen erre megfelelően előkészített mintán feltöltő folyadékot (víz, olaj, iszap, sav stb.) vagy gázt áramoltatunk át és közben CT mérést végzünk. A berendezéssel a nyomást, a hőmérsékletet és az átáramló mennyiséget is rögzíteni lehet, a CT méréssel pedig a telítettség változását lehet 3D-ben térképezni.

##### d) Analóg speciális szimulációs mérések

Ezek általában speciális célberendezéseket alkalmazó mérések melyek a fenti három mérés kombinációján alapulnak.



Az 5. táblázatban összefoglaltuk a különböző CT mérésekből származtatható értékelési eredményeket és a mérési típusok kapcsolatát (Földes, 2011) [8]:

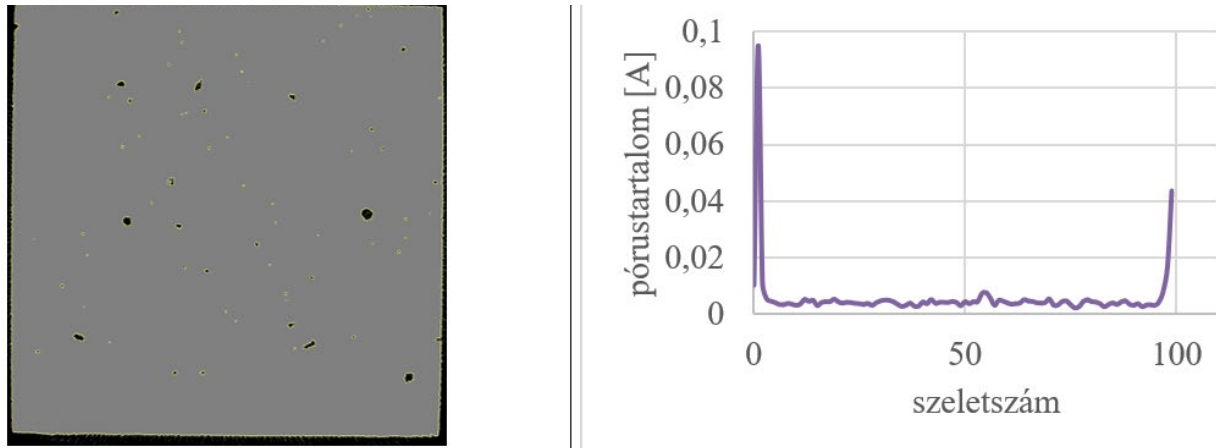
VÁRT EREDMÉNYEK ÉS AHHOZ SZÜKSÉGES VIZSGÁLATOK	Méréstípus			
	Alap	Feltöltéses	Kiszorításos	Analóg
<b>Szerkezeti-, geometriai sűrűség heterogenitás értelmezése, feldolgozása</b>				
A mintadarabok mechanikai sérüléseinek kimutatása	X			
Egyes alkotórészek geometriai értékelése (pórusok, kavicsok stb.)	X			
Szemeloszlás megadása	X	X		
A fontosabb szerkezeti elemek 3D-s vizualizációja	X			
<b>Sűrűség heterogenitás értelmezése, feldolgozása</b>				
Az összetevők térfogatszázaléka a 3D-s HU kumulatív eloszlása	X	X		
Fontosabb elemek sűrűség eloszlása	X			
Fontosabb elemek 3D vizualizációja	X			
A feltöltő folyadékra vonatkozó telítettség - CT porozitás átlag és 2D-3D-s eloszlások		X	X	
Kiszorítási fázis és fázistérfogat (relatív permabilitás méréshez)			X	
Effektív térfogat 3D vizualizációja		X	X	
<b>Analóg feldolgozások</b>				
Modellkísérletek CT alatt				X

5. táblázat: A CT mérések feldolgozási módjai és a mérés típusa (Földes, 2011) [8]

### 4.3.2.3. A kiértékelés lehetőségei

A kiértékelés során a betonmintában található különböző fázisokat (cementkő, pórus, adalékanyag) el kell különíteni. Meg kell adni az elkülönített fázisok mennyiségét, szükség esetén azok eloszlási jellemzőit.

A 2. ábrán egy betonra jellemző CT-felvétel és a rá jellemző póruseloszlás látható:



2. ábra: Betonra jellemző CT-felvétel és póruseloszlás

### 4.3.3. Elektronmikroszkópos vizsgálat

#### 4.3.3.1. Mintaelőkészítés

A próbakockákból kisméretű mintát kell venni az acélzsaluzattal készített oldalak egyikéből, az élektől min. 2 cm távolságban. A vizsgált mintákat a mintatartókra kétoldalú ragasztócsíkkal (karbon vagy réz) kell rögzíteni. A mintát a feltöltődés megszüntetése érdekében vékony aranyfilmmel kell bevonni. A hatásvizsgálat előtt és után nem lehet megnézni ugyanazt a részt, erre a CT vizsgálat alkalmas.

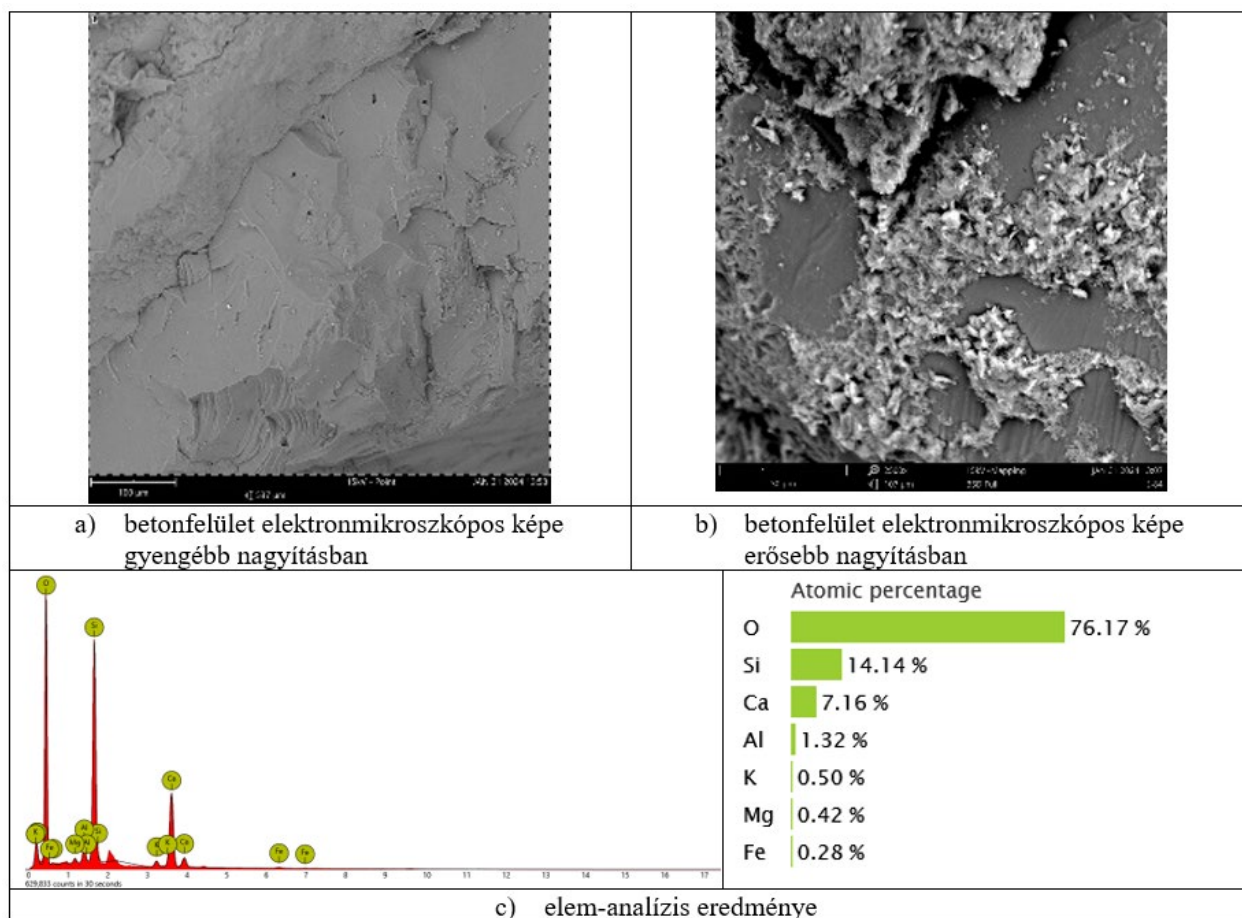
#### 4.3.3.2. Vizsgálati elrendezés

Az elektronmikroszkóp javasolt beállítási paraméterei a következők:

- ▶ kisvákuum üzemmód,
- ▶ szekunder elektrondetektorral való mérés,
- ▶ gyorsító feszültség: 20 kV,
- ▶ munkatávolság: 20 mm,
- ▶ nagyítások: az alkalmazott nagyítást minden kép rányomtatva tartalmazza (például 50x, 500x, 1000x, 2000x).

A mérést mind a 4 javasolt nagyításban egymás után meg kell nézni, mert van, amely csak a kisebb és van olyan is, amely csak a nagyobb nagyítással készült képen látszik. A megfelelő nagyításnál több ponton felvételt készítünk a mintáról.

A mérési idő egy minta esetében jellemzően 10-15 perc, bonyolult minták vagy nagy pontossági igény esetén a mérés akár 1-2 óráig is tarthat.



3. ábra: Javaslat a SEM felvétel kiértékelésére

### 5.1. Hivatkozott dokumentumok

[1] MSZ 4798:2016 Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelés, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon

[2] MSZ EN 998-2:2017 Előírás falazati habarcsra. 2. rész: Falazóhabarcs

[3] MSZ 4798:2016/4M:2023 Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelés, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon

[4] MSZ EN 12390-1:2021 A megszilárdult beton vizsgálata. 1. rész: A próbatestek és sablonok alak-, méret- és egyéb követelményei

[5] MSZ EN 12390-2:2019 A megszilárdult beton vizsgálata. 2. rész: Szilárdságvizsgálati próbatestek készítése és tárolása

[6] MSZ EN 12390-3:2019: A megszilárdult beton vizsgálata. 3. rész: A megszilárdult beton nyomószilárdsága

[7] MSZ EN 12390-7:2019: A megszilárdult beton vizsgálata. 7. rész: A megszilárdult beton testűrűsége

[8] FÖLDES TAMÁS (2011) Kőzetkarakterizáció röntgen computer tomográf (CT) mérésekkel végzett hidrodinamikai vizsgálatokkal. Újdonságok a geotermikában pp. 25-42. Graef, B. et al (2005) A sensitivity study for the visualisation of bacterial weathering of concrete and stone with computerised X-ray microtomography, Science of Total Environment Vol. 341, pp.:173-183.

### 5.2. Az irányelvhez kapcsolódó releváns források

#### 5.2.1. Jogszabály

305/2011. (III. 9.) Európai Parlament és Tanács rendelet az építési termékek forgalmazására vonatkozó harmonizált feltételek megállapításáról és a 89/106/EGK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről (CPR - Építési Termék Rendelet)

1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról (Atv. - Atomtörvény)

2023. évi C. törvény a magyar építészetről

191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet az építőipari kivitelezési tevékenységről (Kivitelezési Kódex)

275/2013. (VII. 16.) Korm. rendelet az építési termék építménybe történő betervezésének és beépítésének, ennek során a teljesítmény igazolásának részletes szabályairól

143/2004. (XII. 22.) GKM rendelet a Hegesztési Biztonsági Szabályzat kiadásáról

34/2021. (VII. 26.) ITM rendelet egyes ipari és kereskedelmi tevékenységek gyakorlásához szükséges képezésekről, valamint egyes műszaki szabályozási tárgyú miniszteri rendeletek módosításáról

8/2018. (VIII. 17.) ITM rendelet az ömlesztőhegesztés végzésének feltételeiről

2/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről

3/2022. (IV. 29.) OAH rendelet a radioaktív anyagok nyilvántartásának és ellenőrzésének rendjéről, valamint a kapcsolódó adatszolgáltatásról

4/2022. (IV. 29.) OAH rendelet a nukleáris anyagok nyilvántartásának és ellenőrzésének szabályairól

5/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az atomenergia alkalmazása körében eljáró független műszaki szakértőről

6/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az atomenergia alkalmazása körében eljáró független műszaki szakértői tevékenységgel kapcsolatos eljárások díjairól

7/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az atomenergiáról szóló törvény hatálya alá tartozó építményekkel, létesítményekkel kapcsolatos műszaki szakértői, tervezői, műszaki ellenőri és felelős műszaki vezetői tevékenység szerinti szakmagyakorlásra való alkalmasság igazolásának és nyilvántartásba vételének részletes szabályairól, továbbá a nyilvántartás adattartalmára vonatkozó szabályokról

### 5.2.2. Szakirodalom

Balázs László György - Lublók Éva - Földes Tamás (2015) Let's look at inside by x-ray computed tomograph (CT), Structural Concrete Journal (submitted)

Balázs László György - Lublók Éva: Possibilities of computed tomography (CT) for diagnosis of concrete structures In: D Choi, T Tang (szerk.) 6th Int Conference of Asian Concrete Federation, 2014. pp. 34-37.

Éva Lublók - Balázs László György: Potentials in use of X-ray computer tomograph (CT) to study concrete, CONCRETE BETON-TECHNOLOGIE KONSTRUKCE SANACE 6, 2013. pp. 43-45.

Kocur, G. K. - Saegner, E. H. - Vogel, T. (2010): Elastic wave propagation in a segmented X-ray computed tomography model of concrete specimen, Construction and Building Materials, Vol. 24 pp. 2393-2400.

Kopecskó Katalin (2006): Gőzölés hatása a cement klinkerásványainak kloridion megkötő képességére, PhD értekezés, Budapest

Pokol György - Sztaniszlav Janisz (1999): Analitikai kémia I., Budapest, Műegyetemi Nyomda, Azonosító: 65028

K. Ch. Thielen: „Strength and Deformation of Concrete Subjected to high Temperature and Biaxial Stress-Test and Modeling”, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, köt. 437, 1994

K. Hinrichsmeyer: „Strukturorientierte Analyse und Modellbeschreibung der thermischen Schädigung von Beton”, Heft 74 IBMB, 1987

*MÓDSZERTAN A NUKLEÁRIS LÉTESÍTMÉNYEKBEN ALKALMAZOTT BETONOK BÓRSÁVVAL ÉS EMELT  
HŐMÉRSÉKLETTEL SZEMBENI ELLENÁLLÁSÁNAK VIZSGÁLATÁRA*  
című építésügyi műszaki irányelvet a szakmai szervezetek véleményezése mellett összeállította, a tervezet  
előkészítéséért felelős:

▶ Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft.

▶ 2000 Szentendre, Dózsa György út 26.

▶ Telefon: +36 (26) 502 300

▶ E-mail: [emszb@emi.hu](mailto:emszb@emi.hu)

▶ Honlap: [www.emi.hu](http://www.emi.hu)

*A kiadvány megjelenése az Építési és Közlekedési Minisztérium támogatásával valósult meg .*



ÉPÍTÉSI ÉS KÖZLEKEDÉSI  
MINISZTERIUM

 **EMSZB**  
ÉPÍTÉSÜGYI MŰSZAKI SZABÁLYOZÁSI BIZOTTSÁG