

**Atomerőművi nukleáris környezetben
lévő beton- és vasbeton szerkezetek
című útmutató készítése
2018**

Dr. Kovács Károly

Animátor: Pásztory Ferencné

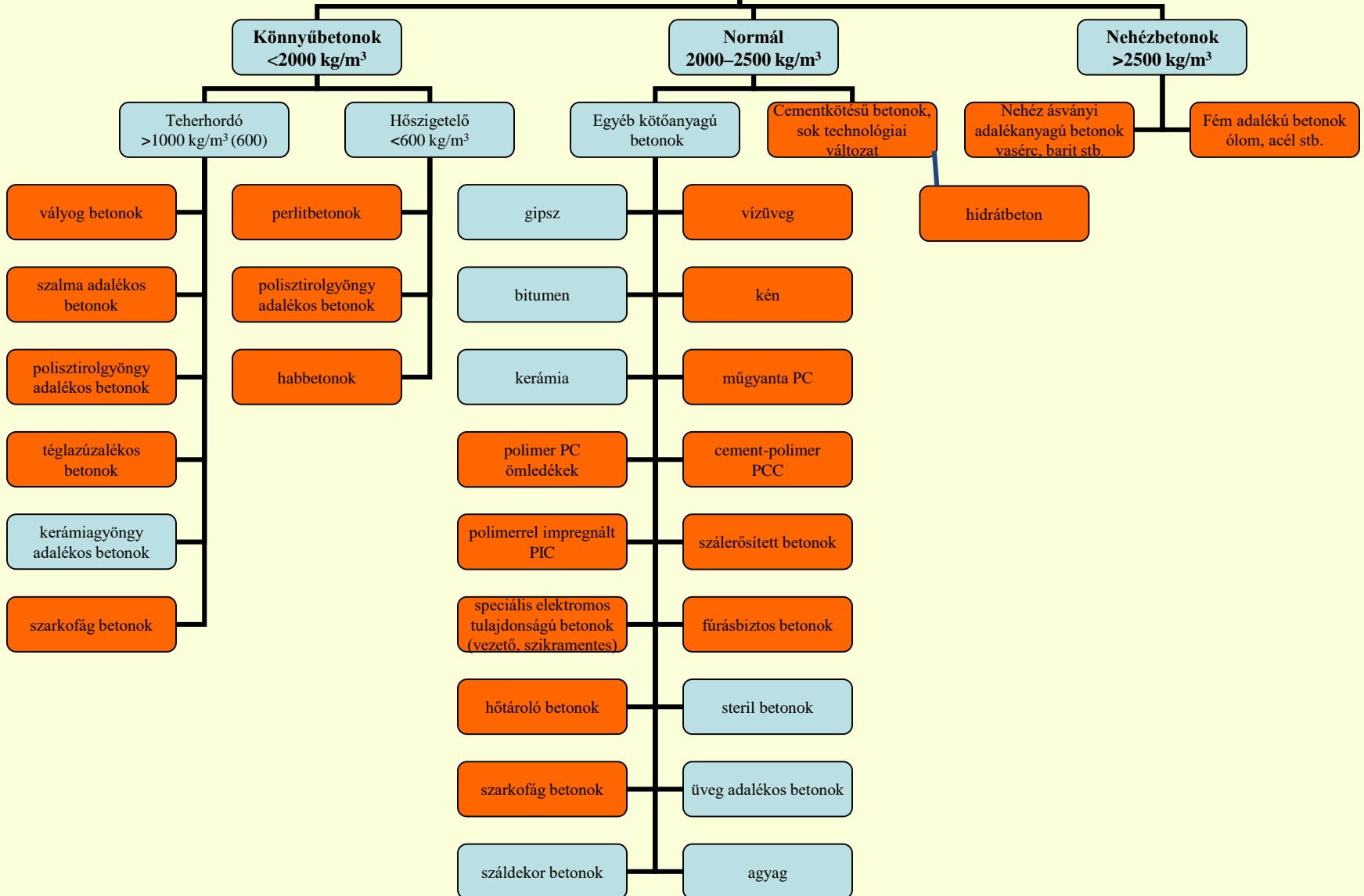
Bevezetés, előzmények

Az ÉMI Nonprofit Kft. 2016. évben kapott megbízást a tervezett Paks II. Atomerőművi blokk építésével kapcsolatban, a betonvasbeton szerkezetek anyagtani vizsgálatára abból a célból, hogy az építendő tartószerkezetek optimális fajtájú és összetételű, hazai anyagból készüljenek. A megfelelő anyag kiválasztása a magyar bányakincsek megismerésén keresztül, vizsgálatokkal lehetséges. Ehhez felhasználtuk a korábbi beton-vasbeton készítési tapasztalatainkat.

A feladatot az bonyolítja, hogy nem lett konkretizálva a beton fajtája, mivel ismeretlen volt a készülő vasbeton szerkezetek fajtája, anyaga, formája. A jelenleg működő erőműben fungáló vasbeton szerkezetek anyagait vettük kiindulási alapul. Az eddig elvégzett munka tehát csak általánosságokat tartalmaz. Várjuk azokat az információkat, amelyekkel közelíteni lehet a tényleges anyagtani tulajdonságot.

A nehézségeket az is jelenti, hogy a beton egy in situ anyagrendszer, mely a bányászott, kinyert részben egyedi tulajdonságú alapanyagoktól nyeri a végső tulajdonságait.

Betonok

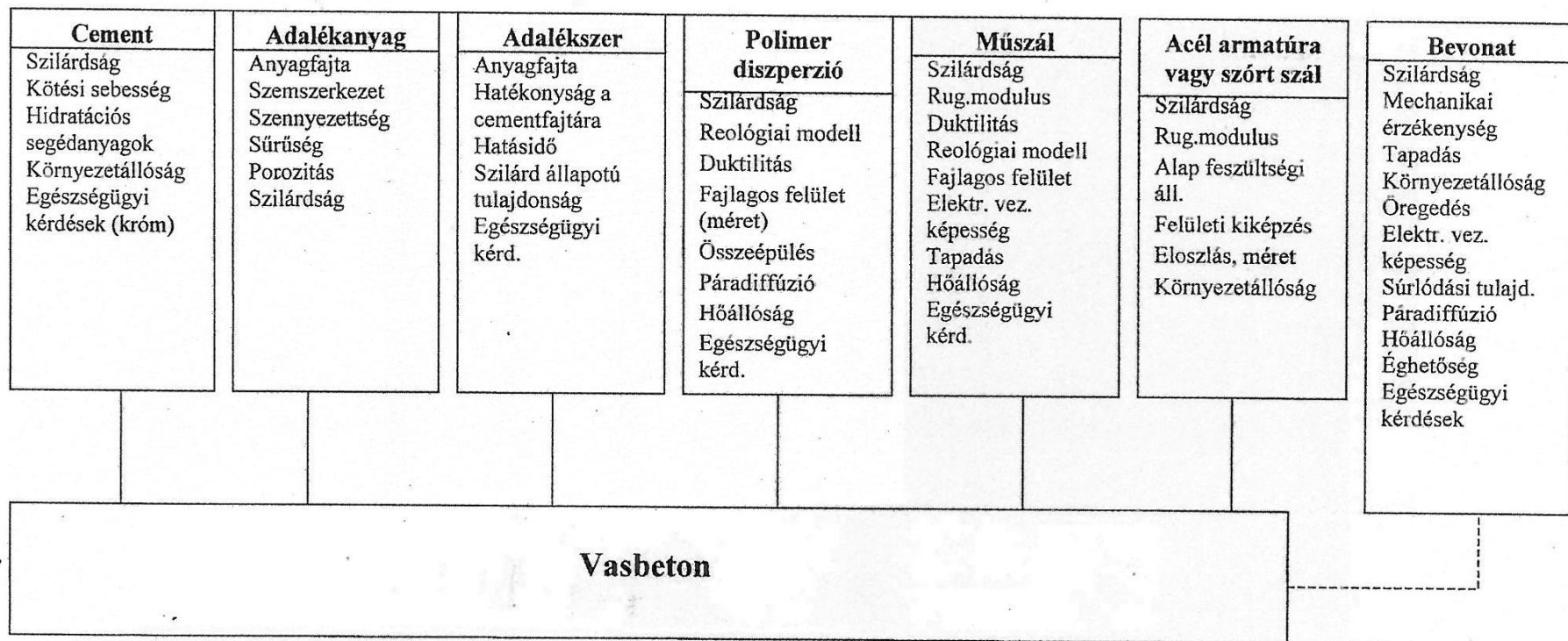


Betonok osztályozása

A táblázatból lemérhető, hogy igen sok kategória létezik, és ezek mindegyikéből építhető nukleáris környezetben szerkezet. Természetesen teljesíteni kell azokat a nukleáris alapkövetelményeket, amelyek biztosítják a tartós, legalább a tervezett időre szóló alkalmasságot.

A táblázatban megjelölt kategóriákon belül még számtalan szortiment létezik, hiszen nem jelöltük a belőlük kialakítható szilárdsági kategóriákat, nem vettük figyelembe a betonban lévő erősítő, kiegészítő, reológiai átalakítószerkezetek által keletkező betónfajtákat. (Acélbetétek, szálerősítések, epoxi bevonatos acélok, műszál erősítések, szénszál erősítések, adalékszerkezetek, stb.)

**Több komponensű szerkezeti modell kialakításának kritériumai
(Pl. Felületileg is védett vasbeton rendszer)**



Számítással, tervezéssel a tulajdonságokat a szuperponálódás következtében

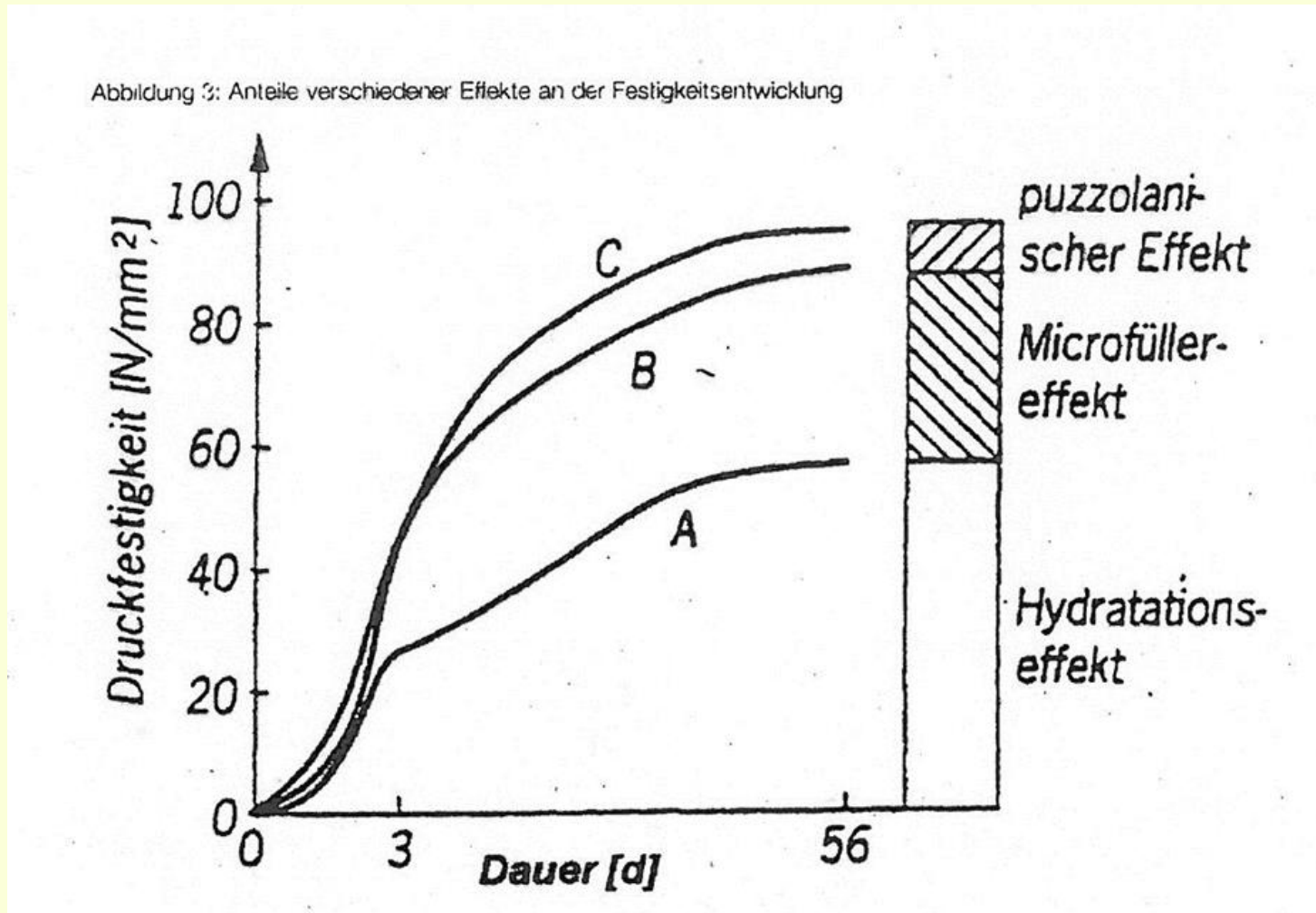
Csak hozzávetőlegesen lehet előre becsülni!

A kialakítás mindenegyres lépcsőjében mérni kell a tulajdonságokat!

A piacra kerülés költségébe be kell tervezni a vizsgálatokat is!

Ez olcsóbb, mint az utólagos bajmegállapítás!

A beton szilárdságának kialakításához több komponens együttdolgozása szükséges



A mai modern vasbetonok készítésénél egyre nagyobb szerepet kap a puccolánok és az aktív mikro töltőanyagok alkalmazása

A nukleáris alkalmazású vasbetonok összetevői között egyre nagyobb szerepet töltenek be a polimerek. Ezeket részben adalékszerként, részben reológiai modell alakítóként használják. Felhasználásával eredményesen lehet megnövelni a gyengének ítélt szilárdsági, vagy egyéb tulajdonságokat. (Pl. hajlító-húzószilárdság, víztranszfer gátlás, stb.) Természetesen ezeknek a segédanyagoknak is el kell viselni a nukleáris környezetet.

Az alkotóanyagok követelményei (építési)

- a) A felhasználandó anyagok egyedileg is tartósak legyenek.
- b) Az anyagok rendelkezzenek NMÉ-vel, és tulajdonságaik a nemzetközi normáknak is feleljenek meg.
- c) Viseljék el a sugárhatásokat, ne aktiválódjanak, tulajdonságaik ne romoljanak.
- d) Viseljék el a technológiai körülményeket (vegyszerhatások).
- e) Álljon rendelkezésre olyan mennyiségben, hogy a teljes üzemidő alatti pótlások is elvégezhetőek legyenek, mert nem helyes, ha az üzemelési idő alatt újabb anyagokkal javítunk. Ne változtassuk a lényegtelennek tűnő komponensek fajtáját sem (adalékszerek).
- f) Legyen a tönkremenetelük időben toleráns.

Különleges körülmények

- a) Nukleáris kontamináció
- b) Nagy hőmérséklet - ingadozás
- c) Gigant szerkezetek
- d) Szigorú környezeti szigeteltség (belső-külső)
- e) Ellenőrzött anyag-energia forgalom (lásd hűtés)
- f) Biztonságos védelmi rendszer
- g) Toleráns szerkezet (időben)

Cementösszetevők termomechanikai analízissal számított belső hidratációs hője Kaminski és Zielenkiewicz (1982) szerint

A hidratációs termékek képződése a következő hőfejlődéssel jár (forrás: Kausay (2008) [8]):

$3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_3\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ képződése Alitból: 520 J/g

$3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_3\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ képződése Belitből: 260 J/g

$3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{CaO}\cdot \text{SiO}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ képződése Felitből: 1140 J/g

$3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaO}\cdot \text{SiO}_3\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ képződése Felitből: 1670 J/g

$4\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$ képződése Felitből: 1160 J/g

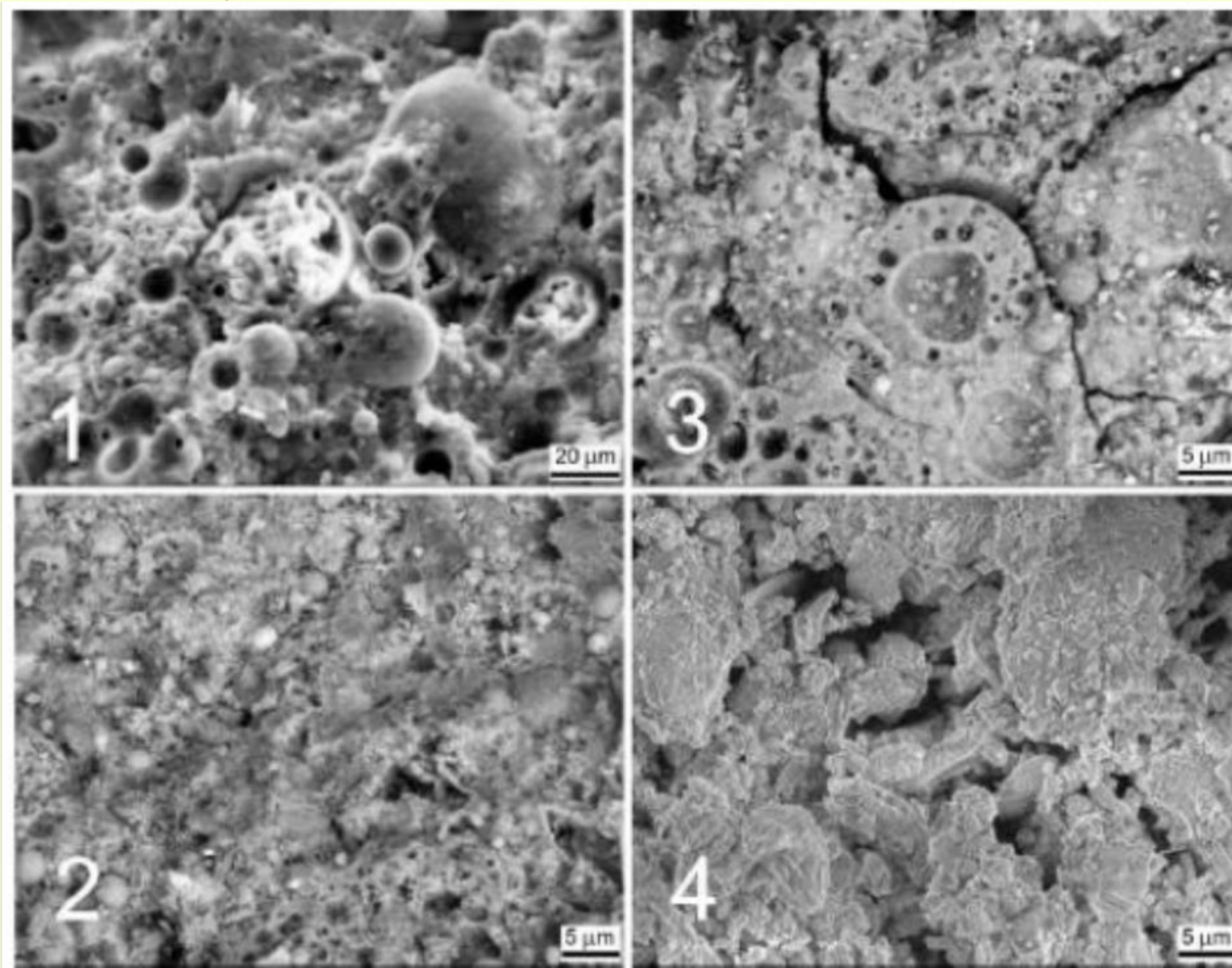
$4\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O} + 4\text{CaO}\cdot \text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 13\text{H}_2\text{O}$ képződése Celitből:
420 J/g

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ képződése szabad kalcium-oxidból: 1150 J/g

$\text{Mg}(\text{OH})_2$ képződése szabad magnézium-oxidból: 840 J/g

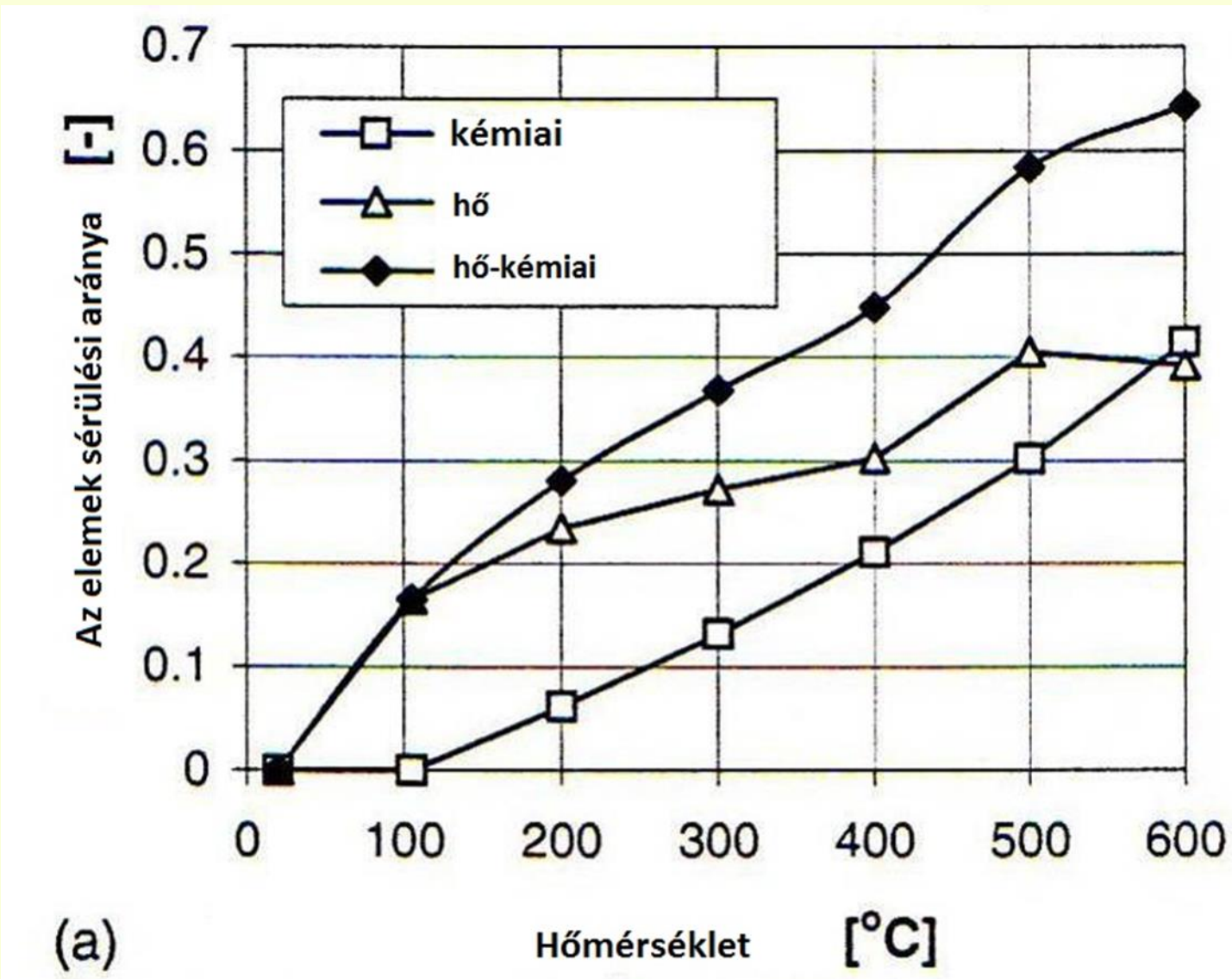
A cementek klinkerösszetételétől függően készítéskor változó nagyságú hő fejlődik, mely korlátozza a folyamatos betonozás lépéseinek nagyságát.

Pernye és portlandcement keverékből készült cementpép mikrostruktúrájának változása gamma sugárzás hatására Lowinska-Kluge és Piszora (2008) alapján. 1-0 MGy; 2-290 MGy; 3-466 MGy; 4-1188 MGy



Az eredetileg is túlmelegedett beton a nukleáris használatban könnyebben reped.

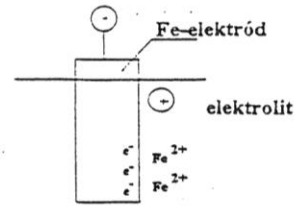
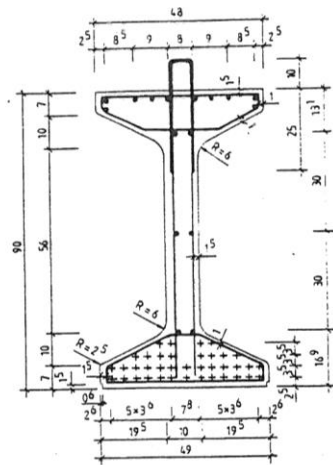
A betontestek sérülései hőmérséklet hatására



(a)

A megemelkedett hőmérséklet készítéskor és használat közben is károsítja a betontestet

A betonban alkalmazott betétek alapvetően befolyásolhatják a szerkezet működését is. Az általában alkalmazott acélbetétek polarizálódnak, mert a beton kapillárisaiban működő folyadékok ionos jellegűek. A keletkező galvánelemek (Danielle elem) korróziós hatást fejthetnek ki, ha az alapelemek polaritása anyagi tulajdonságaik folytán különbözőek, vagy különböző betonfajták, illetve beszivárgó kemikáliák oldatába merülnek.



A keletkező elektródpotenciál értékét a Nernst egyenlete alapján számítjuk

$$E = E_T^* + \frac{RT}{nF} \ln c$$

ahol: E = elektródpotenciál értéke

E_T^* = standard elektród potenciál

R = egyetemes állandó

T = abszolút hőmérséklet

n = vegyérték

F = Faraday állandó

c = ionkoncentráció

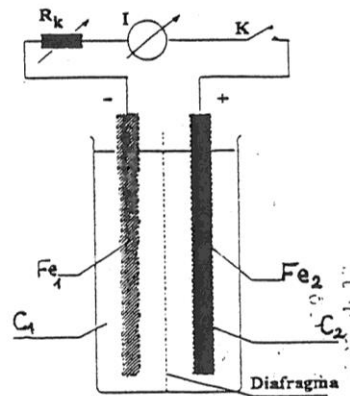
25°C-ra egyszerűsítve (tizes alapú logaritmussal)

$$E = E^* + \frac{0,059}{n} \lg c(V)$$

$$E = \frac{0,059}{n} \lg \frac{c_I}{c_{II}} (V)$$

Ha különböző anyagú elektródák rendszerbe kapcsolására kerül sor, akkor a Nernst egyenlet alakja

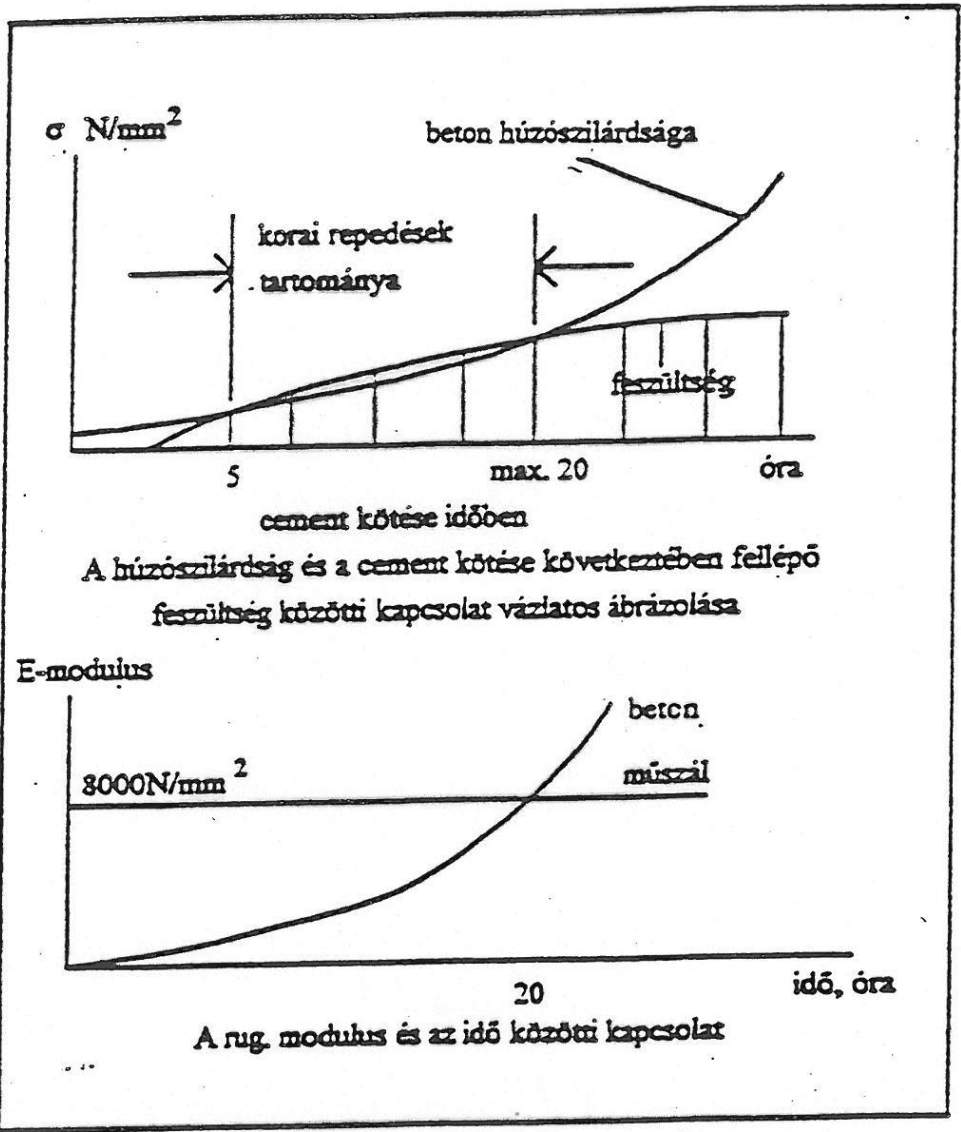
$$E = E_I^* - E_{II}^* + \frac{0,059}{n} \lg \frac{c_I}{c_{II}}$$



Vasbeton Daniell-elem felépítése

A feszültségkülönbségek csökkentése érdekében sok esetben meg kell gondolni az acélbetétek külön védelmét. (Epoxibevonatos betétek) Bizonyos esetekben szükséges olyan betéteket is alkalmazni, amelyek nem korrodálódnak és/vagy nem mágnesezhetőek. (Irányító berendezések körzete.)

A repedések gátlására a beton készítésénél sok esetben szórt szálak erősítést kell alkalmazni. A műanyag szálak azonnal működnek, így a beton korai állapotában kialakuló feszültségek nem okoznak repedéseket.



A műszál rugalmassági modulusa csak 5-20 órás betonoknál gátolja a repedésképződést, később hatástalanok. (Köneke, 1978)

Alapvetően jelenlegi állapotban a három legjelentősebb nukleáris betonfajtára vonatkozó ismereteket lehet a szabályzatokba beiktatni.

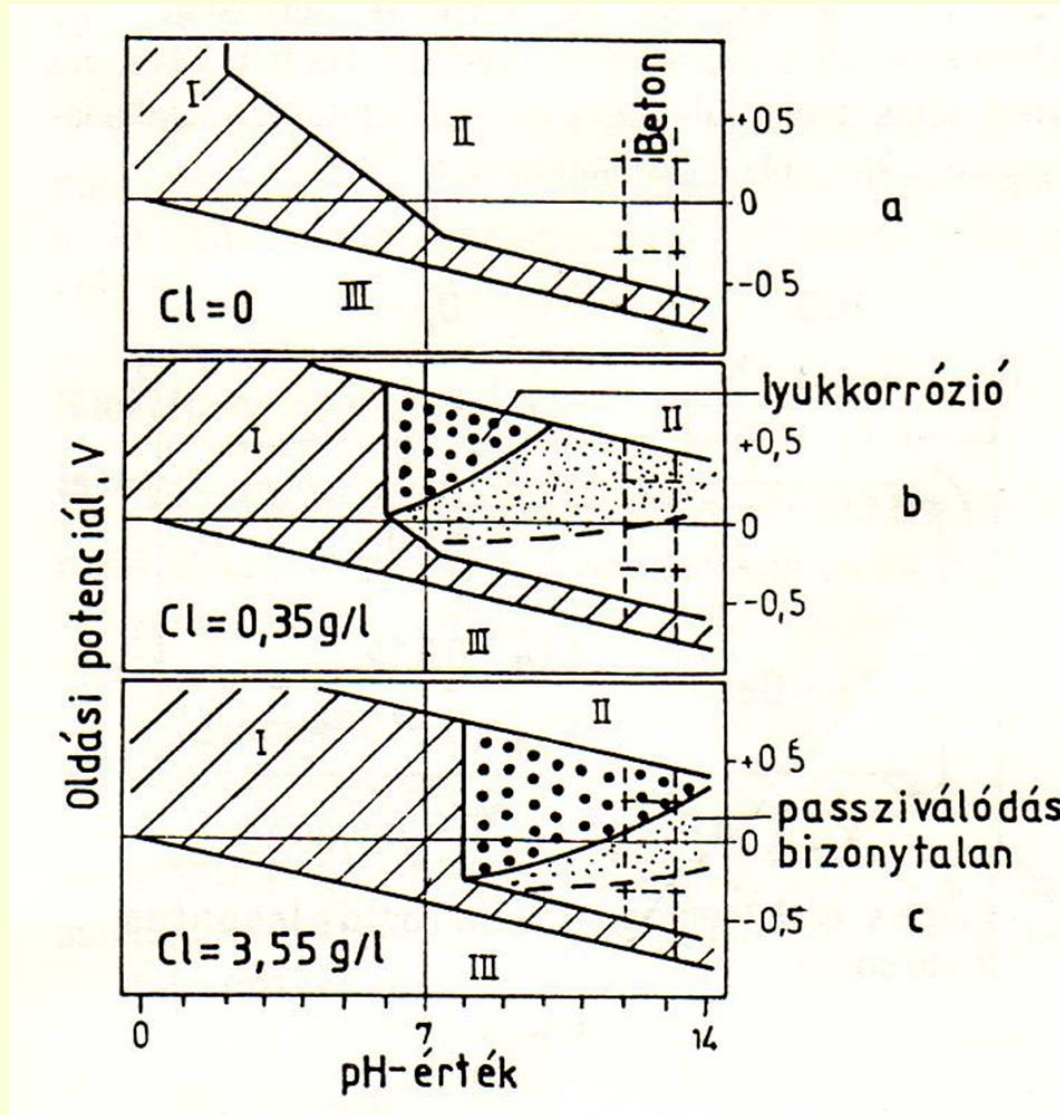
- Normál testsűrűség (2000-2500 kg/m³)
- Nehézbeton testsűrűség (2500-5000 kg/m³) (gammásugár gátlás)
- Hidrátbeton (nagy hidrogén, illetve beépített víztartalom, melyet emelkedett hőmérsékleten is megőriz a beton). (neutrongátlás)

Döntés szükséges a különböző szerkezetek anyagtani meghatározásához, hogy el lehessen indulni a tényleges adalékanyagok, a hozzájuk legkompatibilisebb kiegészítő szerek kiválasztásához, vizsgálatához, és a belőlük készítendő szerkezetek minőségi kategóriájának határaihoz. (Pl. nehézbetonnál hematit, hidrátbetonnál szerpentinit?)

A kiválasztásnál a teljes elem és nyomelem mennyiségek behatárolása is szükséges. Korábbiakban előfordult, hogy olyan elemek kerültek a rendszerbe, amelyek a kémiai korrózió jelentős okozóivá váltak. (Pl. kloridok)

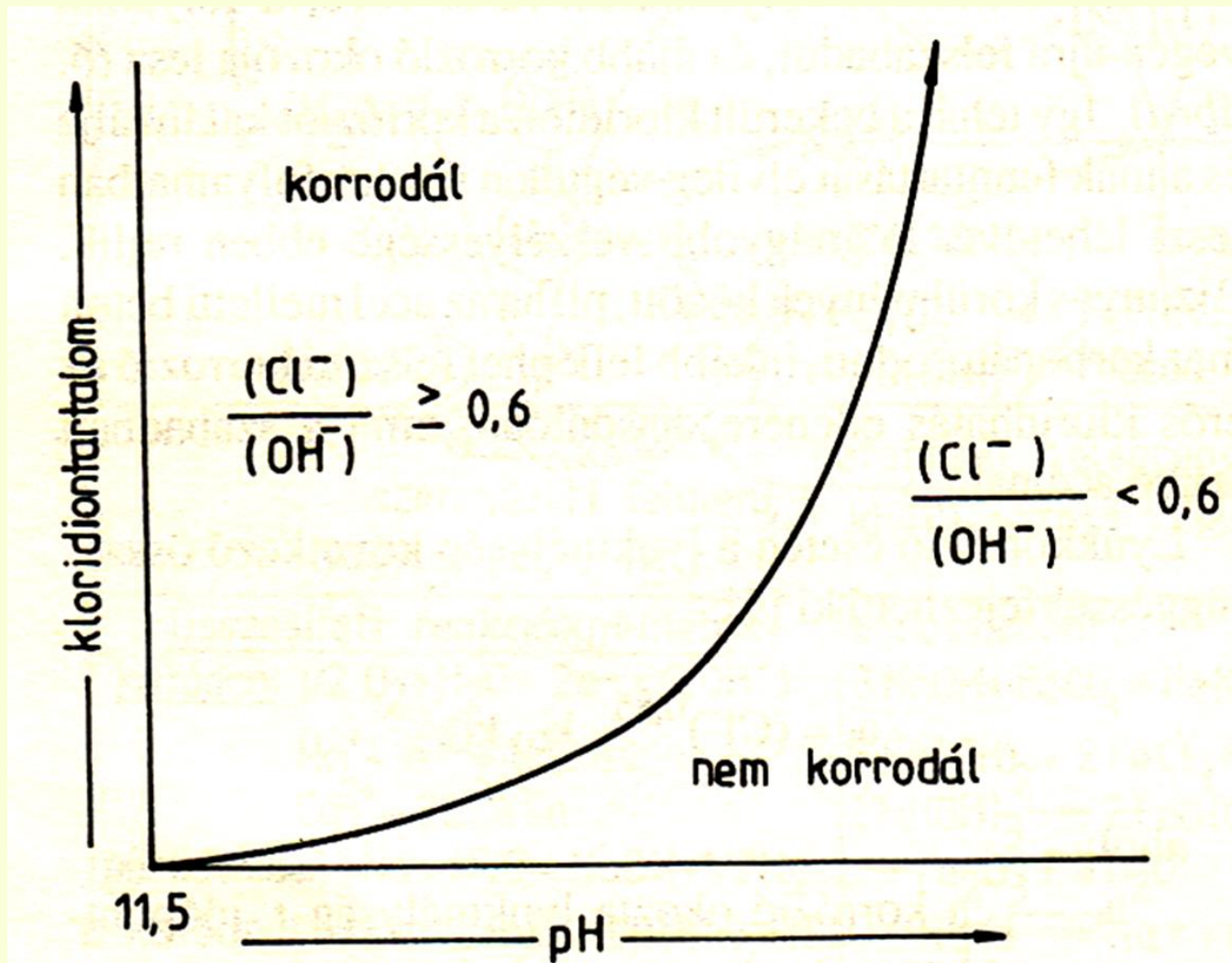
Közismert a kloridok károsító hatása, mert a normál galvanikus korróziót lyukkorróziós mechanizmussá alakította, ezzel jelentősen gyorsította a szerkezet öregedését.

A kloridion hatása



Kloridszennyeződések hatása

A kloridion veszélyességi határa



Kloridkorrózió veszélyessége a pH függvényében

Egyéb anyagok is kifejthetnek károsító hatásokat.
(duzzadás, kioldódás)

Legjelentősebb hatásuk a technológiából származó bóros ionoknak van.

Nem ismertek a szuperponálódások olyan esetekben, amikor többféle ion is előfordul. (Pl. klorid, szulfát, borátok)

Ha új szerkezeteket terveznek, akkor a felhasználandó anyag teljes analízise szükséges (nyomelemek is). Részletes kísérletekkel lehet tisztázni a káros anyagok kumulált hatását. Ezek időtartam vizsgálatokat igényelnek, melyek elkezdése jelenleg már időszerű.

Bórsav-bórkarbid

A neutronok befogásában van nagy szerepük. Általában az ún. dekontaminálási eljárásokban használják híg vizes oldatát. A környezet befolyásolja az állapotukat. A meleg részeken 100°C felett a meta, ill. piro állapotban vannak. Közönséges hőmérsékleten orto bórsavakról beszélünk. (H_3BO_3)

Higroszkóposak, ezért jelenlétük a szerkezetben vízfelvételt jelent.

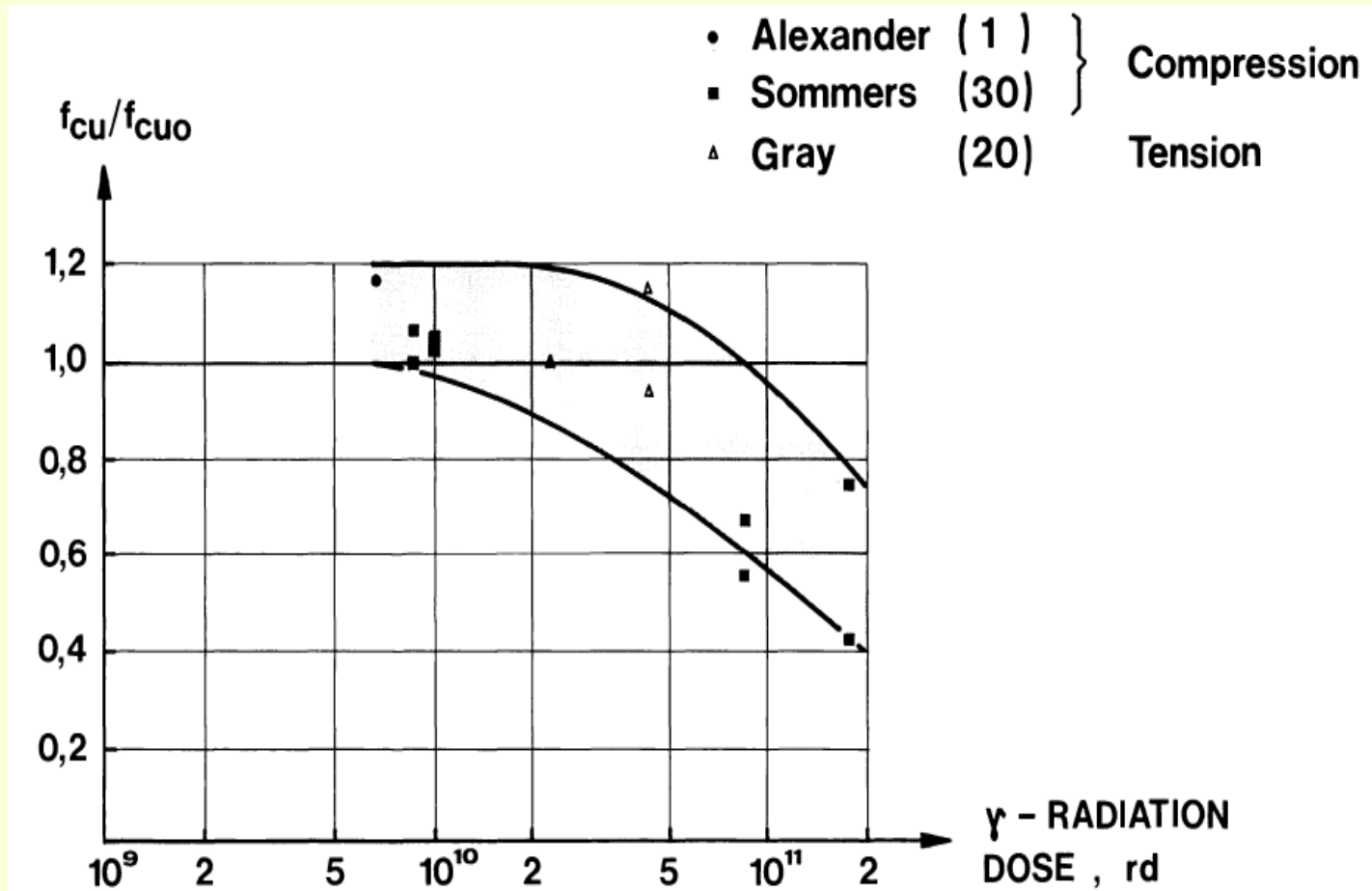
Oldásukkor jelentős hőt termelnek.

Oldatuk a pH-értéket csökkentik (lásd acélbetét védelem).

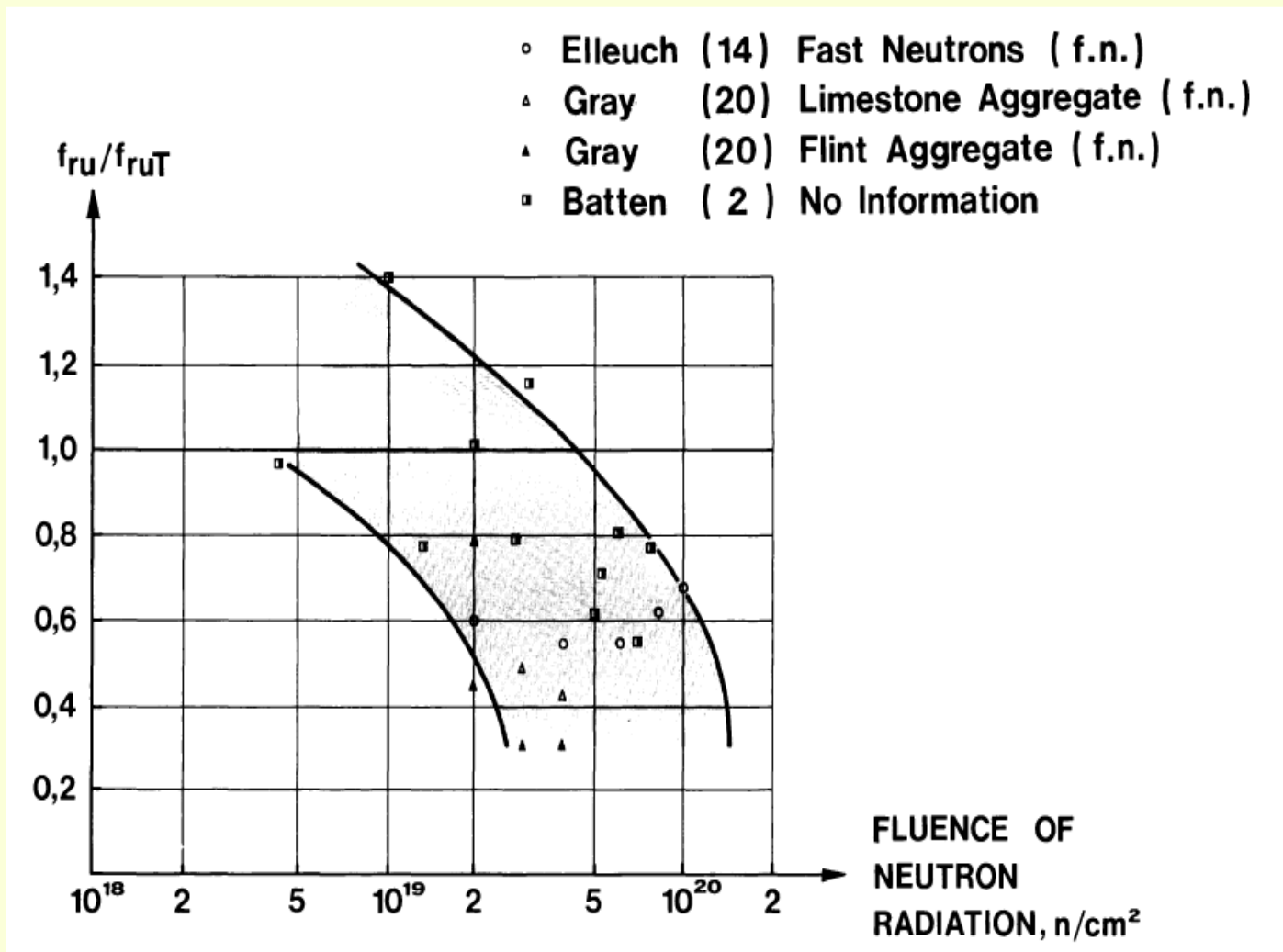
Úgynevezett Lewis savak, komplex képzők, így savas hatásuk sokkal erőteljesebb, mint az egyszerű bórsavé.

A vasbeton szerkezetek üzem közbeni öregedése nukleáris térben, megfelelő dózisok esetén kimutatott tény.

A gamma sugárzásnak kitett beton nyomó-, és húzószilárdsága (f_{cu}) a nem kitett kontroll próbatestek szilárdságának (f_{cu0}) arányában



**A neutronsugárzásnak kitett beton húzószilárdsága (f_{ru})
a csak hőhatásnak kitett kontroll próbatestek szilárdságának (f_{ruT})
arányában**



A bemutatott anyagból látható, hogy egy erőmű összes nukleáris térbe tervezett fontosabb szerkezetének megtervezéséhez rendkívül sokrétű és körültekintő kitekintés szükséges. Alkalmazásukhoz fontos a fejlesztési szabályok egymásra épülő műveleteinek végig vitele. Ezek lépései a következők:

- Laboratóriumi méretű kísérleti fejlesztés
- Félüzemi méretű kísérleti fejlesztés (léptékhatás törvényének figyelembevétele)
- Pilot projekt fejlesztési lépcső
- Kísérleti megvalósítás sorozatban
- Minden önálló jelzetű beton új terméknek számít, amit figyelembe véve az összes igénybevételi igényt (szilárdság, hidrotechnika, tartósság, korróziós kérdések, biológia, ill. biológiai védelem, szennyeződés, aktiválódás, dekontaminálhatóság, javíthatóság, stb.), hazai és nemzetközi rendelkezést okiratilag is igazoltatni kell.
- Az igazolások tartóssági vizsgálatokon alapulnak, melyek átfutási ideje hosszú (évek). Ilyen szempontból késésben vagyunk és nagyon sürgős lenne azoknak az információknak a tisztázása, hogy a kritikus helyeken (primer kör) hányféle, milyen minőségű, milyen és honnan származó anyagú betonokat és egyéb szerkezeti anyagokat terveznek be.

Köszönöm megtisztelő
figyelmüket