



Benchmarking of deemed-to-satisfy provisions in standards

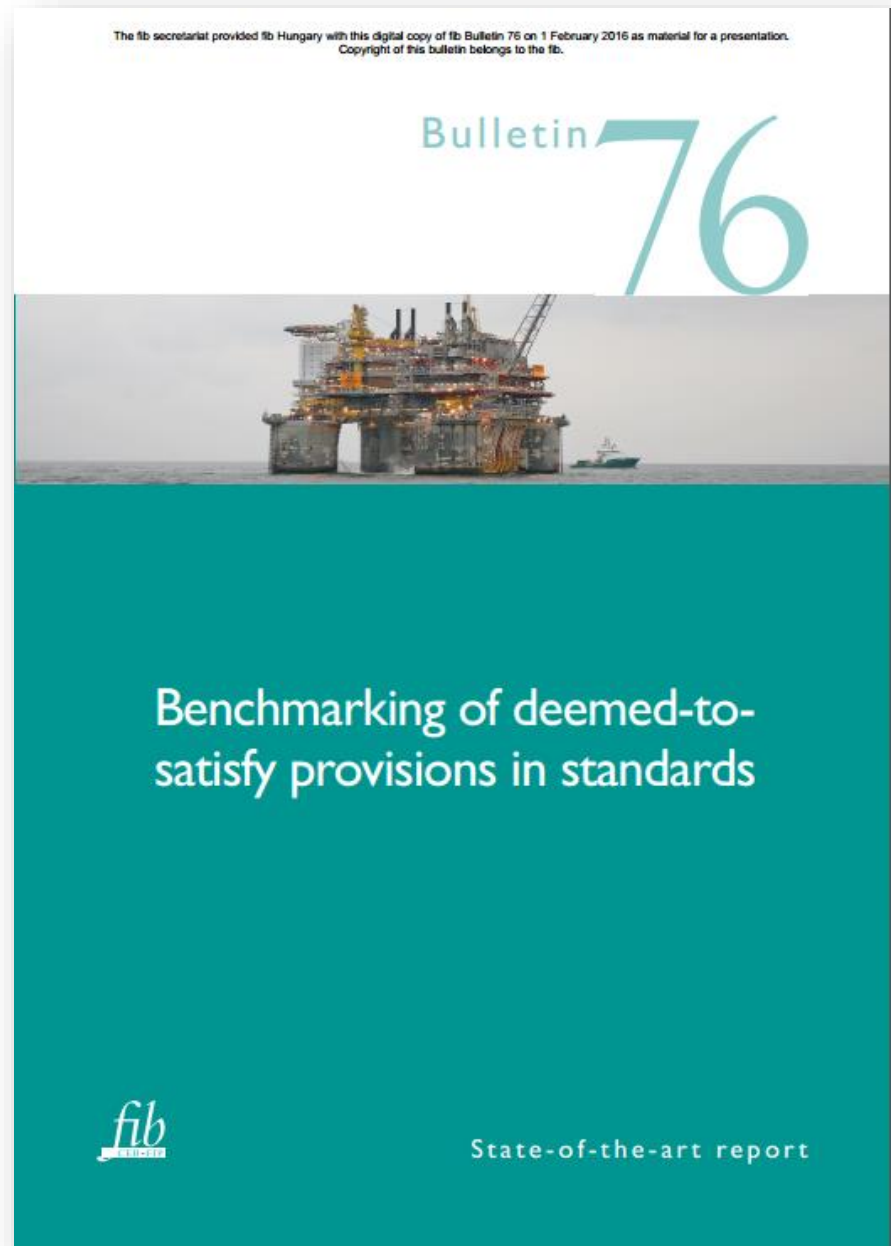


State-of-the-art report

A FIB BULLETIN 76 BEMUTATÁSA

- A *fib* bulletinben használt fogalmak és definíciók áttekintése,
- A vizsgálati módszerek összefoglalása,
- A Bulletin 76 megállapításai a kloridion behatolás meghatározásával kapcsolatban.

DR. KOPECSKÓ KATALIN
OKL. VEGYÉSZMÉRNÖK
OKL. BETONTECHN. SZAKMÉRNÖK



FOGALMAK ÉS DEFINÍCIÓK

2.2.2 Mathematical model for chloride penetration

Kloridionok behatolásának modellezése: Fick II. törvénye

2.2.2.1 Evolution

Colleparidi (1970) introduced Fick's 2nd law of diffusion for modelling chloride ingress in concrete structures in 1970 (Eq. 2-1).

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (2-1)$$

The chloride diffusion coefficient used in this model was considered to be independent of time. When used during the 1980s the researchers became aware that in many situations this model resulted in unrealistically short service lives. In the late 1980s it was also observed that the chloride diffusion coefficients derived from the profiling of concrete subjected to long-term exposure to seawater were much lower than those after short-term exposure. An example is a study by the Norwegian Road Administration of a number of existing coastal bridges with up to 39 years of exposure (Østmosen 1993). The chloride diffusion coefficients obtained by curve fitting the chloride profiles obtained at the surface to Fick's 2nd law were 5 to 60 times lower (better) than those determined after immersing samples representing the inner parts (not contaminated by chlorides) of the same cores for 35 days in a laboratory.

MI A DIFFÚZIÓ?

A részecskék hőmozgás révén történő szétterjedése, anyagvándorlás.

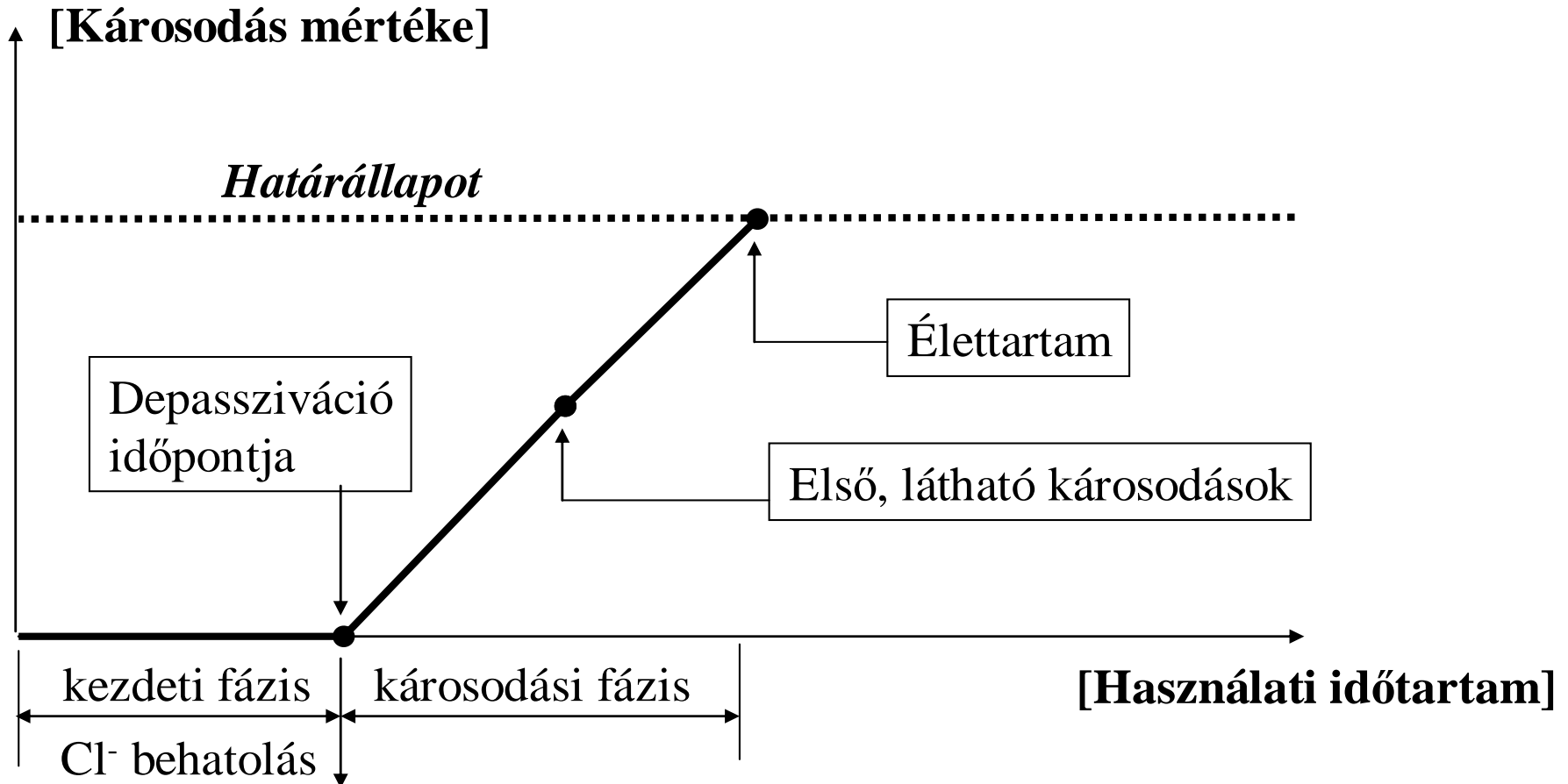
FICK I. TÖRVÉNYE

Az anyagáram sűrűség (J) a koncentrációeséssel arányos, ahol a D arányossági tényező a diffúziós koefficiens.

D DIFFÚZIÓS EGYÜTTHATÓ

Arányossági tényező, amely megadja az egységnyi idő alatt és egységnyi felületen átdiffundált anyag mennyiségét, ha a koncentrációesés is egységnyi volt (m^2/s).

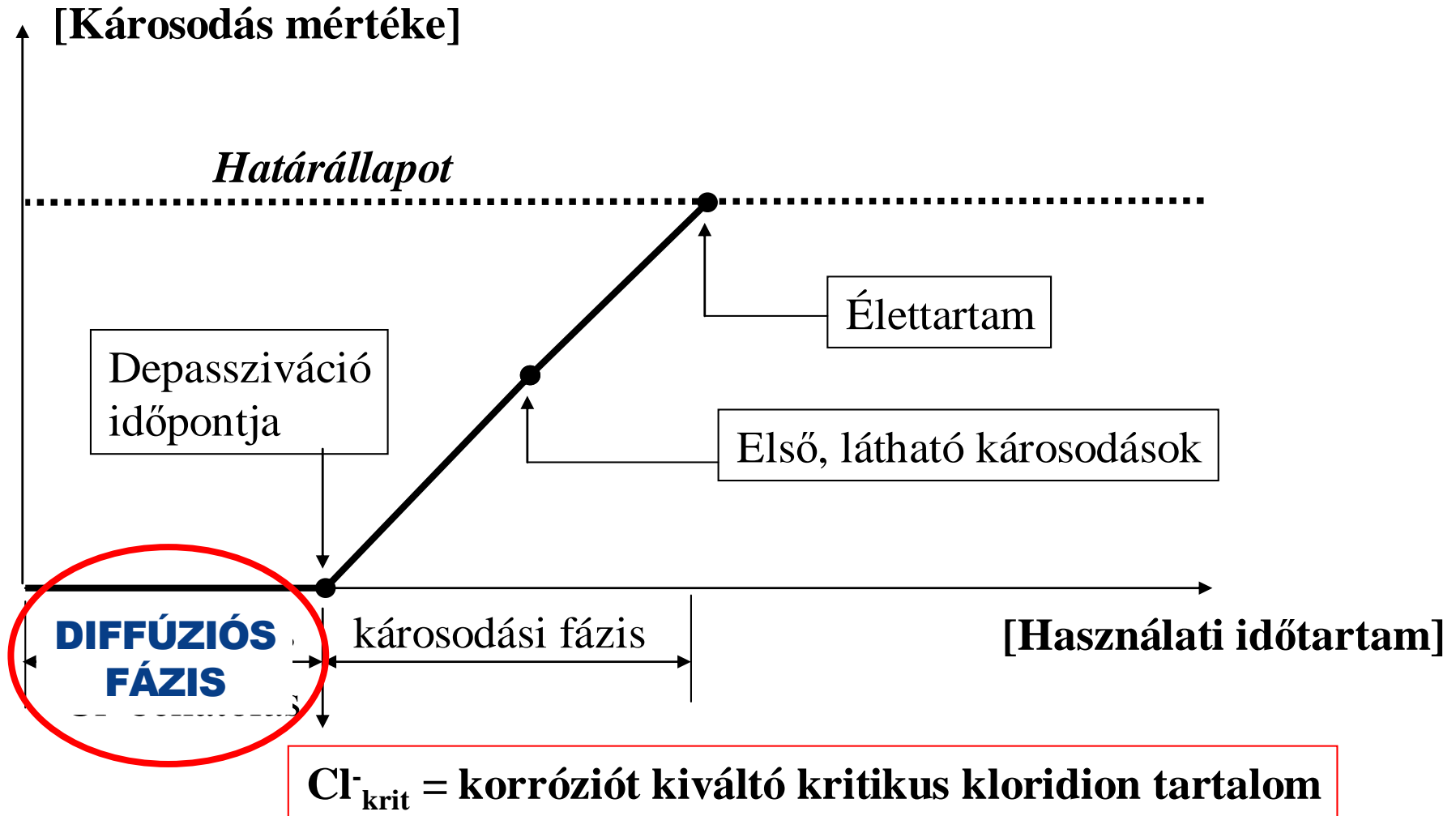
A KLORIDIONOK BEHATOLÁSA BETONBA



Cl^-_{krit} = korróziót kiváltó kritikus kloridion tartalom

(Breit, 2001)

A KLORIDIONOK BEHATOLÁSA BETONBA



(Breit, 2001)

A KLORIDIONOK BEHATOLÁSA BETONBA



(Breit, 2001)

FICK I. TÖRVÉNYE

Állandósult – stacionárius – állapotra vonatkozik!

Az anyagáram sűrűség (J) a koncentrációeséssel arányos, ahol a **D** arányossági tényező a **diffúziós koefficiens**.

$$J = - D \cdot dC_i / dx \quad (\text{a koncentráció nem változik az idővel!})$$

J_i - az i-edik ion fluxusa,

D - diffúziós koefficiens,

C_i - az i-edik ion koncentrációja,

x - a (felületre merőleges) távolság.

FICK II. TÖRVÉNYE

Diffúzióegyenlet - nem állandósult állapotra!

Megadja, hogy amennyiben ismerjük a koncentráció térbeli eloszlását egy t időpontban $/\rightarrow c(\mathbf{x}, t)/$,

egy $t + \Delta t$ időpontban milyen lesz az új koncentráció eloszlás
 $/\rightarrow c(\mathbf{x}, t + \Delta t)/$.

$$\partial C_i / \partial t = D \cdot \partial^2 C_i / \partial x^2$$

D - a diffúziós koefficiens,

C_i - az i-edik ion koncentrációja,

x - a (felületre merőleges) távolság.

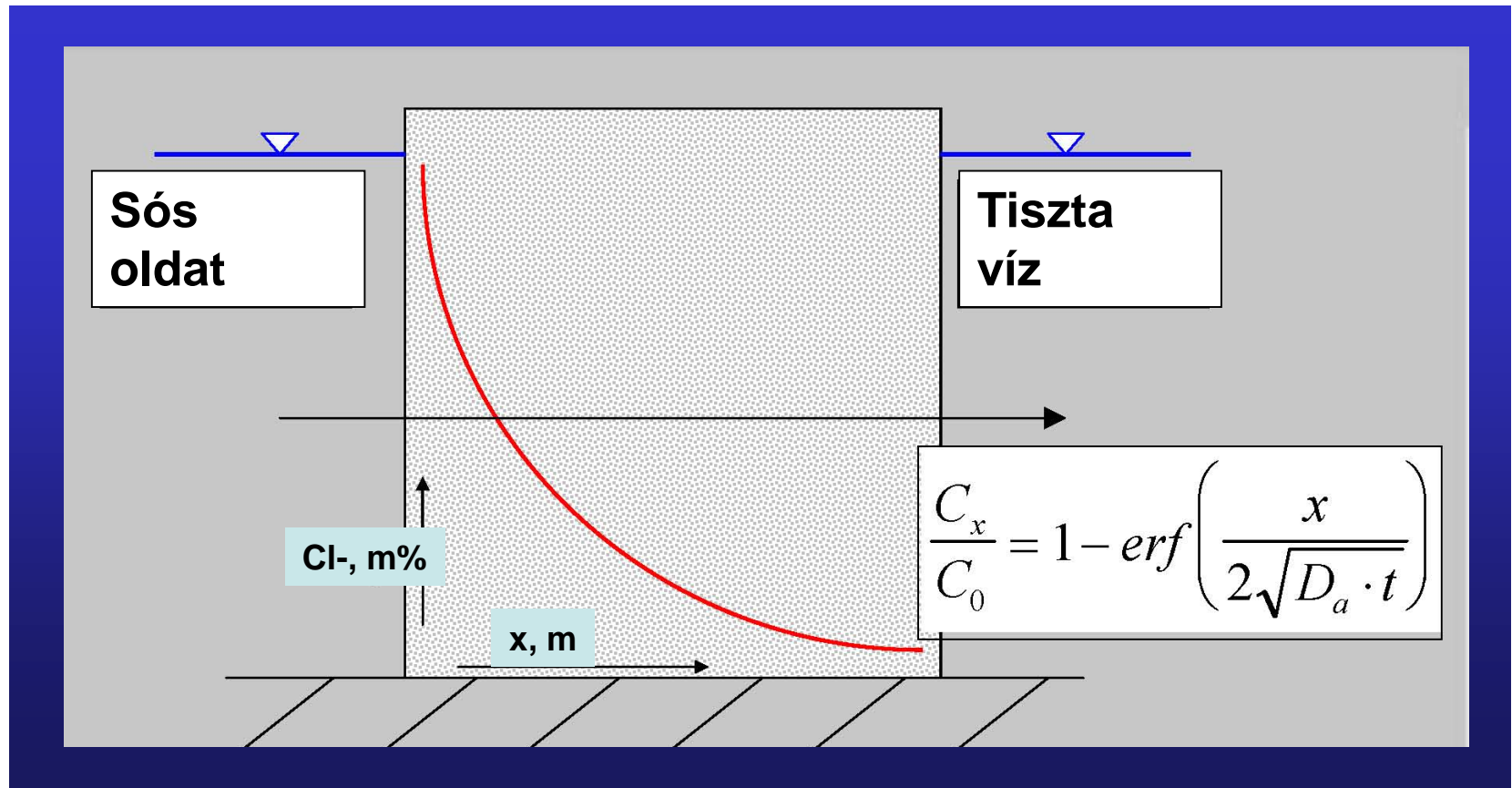
FICK II. TÖRVÉNYE

Diffúzióegyenlet kezdeti és peremfeltételei

$$\partial C_i / \partial t = D \cdot \partial^2 C_i / \partial x^2$$

- $C(x > 0, t = 0) = 0$ *kezdeti feltétel*
a beton kiindulási Cl^- koncentrációja zérus,
- $C(x = 0, t > 0) = C_0$ *peremfeltétel*
a felületi Cl^- koncentráció állandó, értéke C_0 ,
- $C(x = \infty, t > 0) = 0$ *peremfeltétel*
a felülettől elegendően távol eső pontra nézve
a Cl^- koncentráció zérus és nem változik.

A DIFFÚZIÓEGYENLET MEGOLDÁSA



(Hooton, 2006)

D_{APP} VERSUS D

D_{app} vagy D_{eff} tartalmazza a következőket is

- az ionok nem homogén oldaton diffundálnak keresztül,**
- beton porózus alapanyaga mind szilárd, mind folyékony fázist tartalmaz,**
- a szilárd anyagon keresztül történő diffúzió elhanyagolható a pórusstruktúrán keresztül mérhető diffúzióhoz képest,**
- a diffúzió mértéke a pórusoldaton keresztül nem csak a diffúziós koefficiens által meghatározott, hanem a kapilláris pórusszerkezet fizikai jellemzői által is.**

A KLORIDIONOK BEHATOLÁSA VÉGBEMEHEK

- diffúzió
- kapilláris abszorpció
- hidrosztatikus nyomás

hatására a betonban.

Ahol a hajtóerő:

**koncentráció különbség
(koncentráció gradiens)**

**nedvességtartalom-
különbség (gradiens)**

**nyomáskülönbség
(nyomás-gradiens)**

ELTÉRÉSEK A VALÓSÁGTÓL

2.2.2 Mathematical model for chloride penetration in concrete

2.2.2.1 Evolution

Colleparidi (1970) introduced Fick's 2nd law of diffusion for modelling chloride ingress in concrete structures in 1970 (Eq. 2-1).

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (2-1)$$

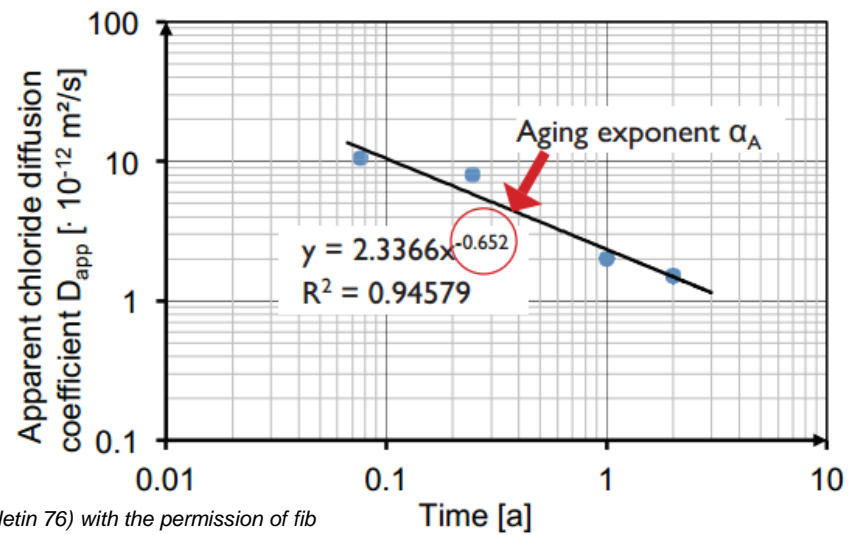
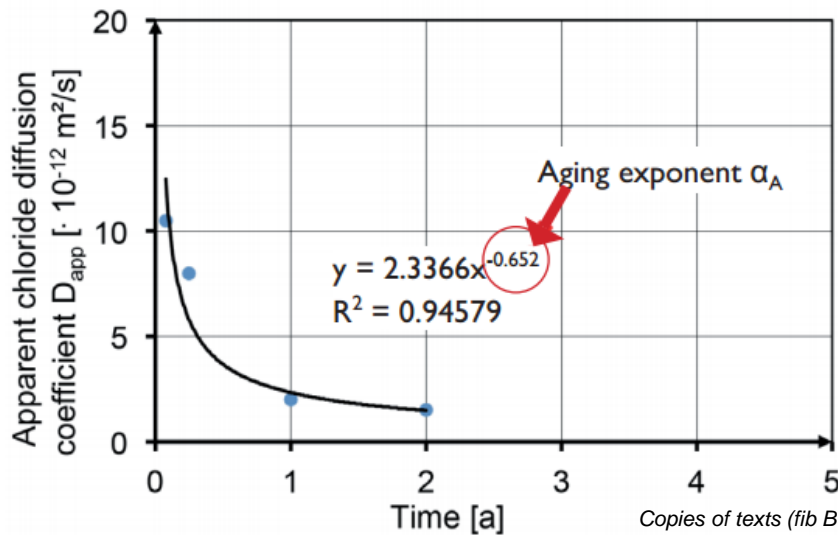
The chloride diffusion coefficient used in this model was considered to be independent of time. When used during the 1980s the researchers became aware that in many situations this model resulted in unrealistically short service lives. In the late 1980s it was also observed that the chloride diffusion coefficients derived from the profiling of concrete subjected to long-term exposure to seawater were much lower than those after short-term exposure. An example is a study by the Norwegian Road Administration of a number of existing coastal bridges with up to 39 years of exposure (Østmosen 1993). The chloride diffusion coefficients obtained by curve fitting the chloride profiles obtained at the surface to Fick's 2nd law were 5 to 60 times lower (better) than those determined after immersing samples representing the inner parts (not contaminated by chlorides) of the same cores for 35 days in a laboratory.

D_{APP} - NEM ÁLLANDÓ

In the early 1990s it was also observed that when plotting the chloride diffusion coefficients obtained from profiling on concrete submerged in a saline solution and curve fitting these to the mathematical solution of Fick's 2nd law of diffusion after different periods of exposure, they obeyed a straight decreasing line in a double-logarithmic diagram (Bamforth 1993, Maage 1993, Maage 1996).

Therefore, it was suggested to replace the constant diffusion coefficient with a time-dependent material characteristic (Eq. 2-2):

$$D_{app}(t) = D_{app}(t_0) \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^{\alpha} \quad (2-2)$$



D_{APP} – AGING EXPONENT

In the early 1990s it was also observed that when plotting the chloride diffusion coefficients obtained from profiling on concrete submerged in a saline solution and curve fitting these to the mathematical solution of Fick's 2nd law of diffusion after different periods of exposure, they obeyed a straight decreasing line in a double-logarithmic diagram (Bamforth 1993, Maage 1993, Maage 1996).

Therefore, it was suggested to replace the constant diffusion coefficient with a time-dependent material characteristic (Eq. 2-2):

$$D_{app}(t) = D_{app}(t_0) \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^\alpha$$

Aging exponent:

0,2 - 0,8.

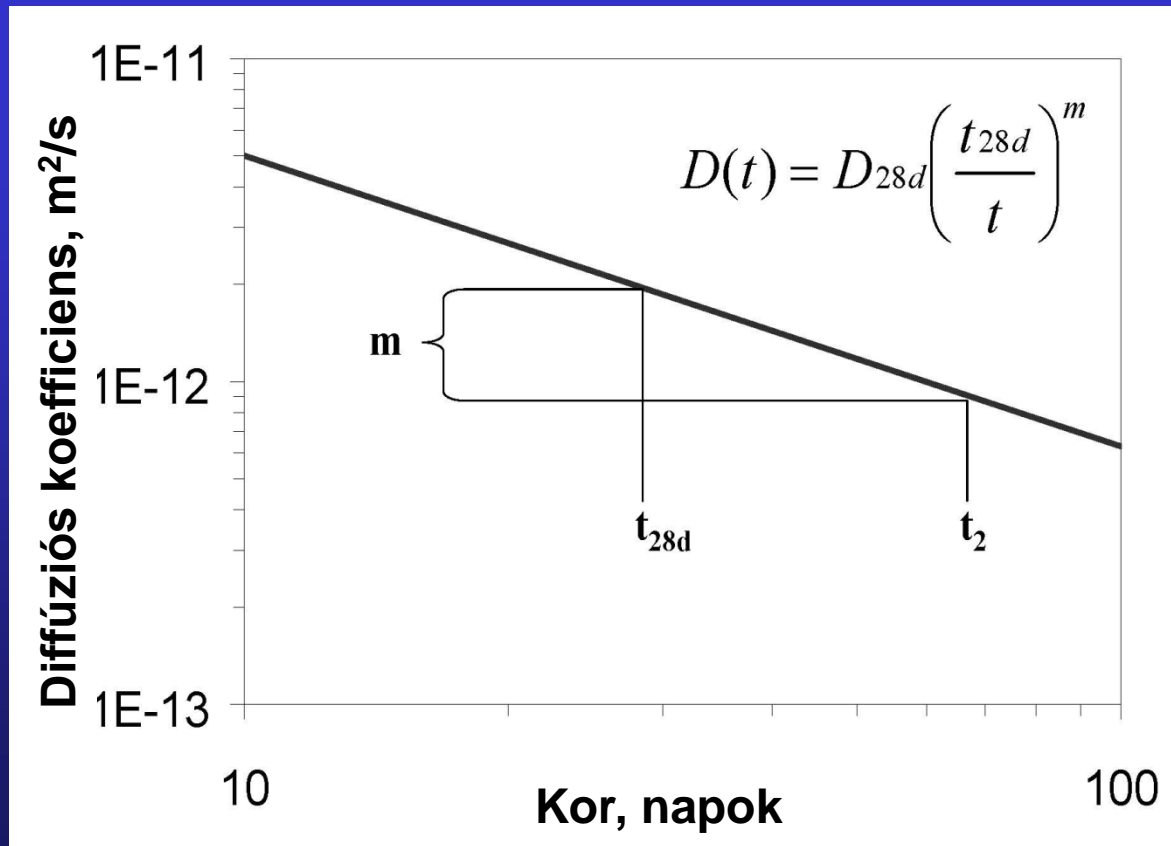
(fib MC2010)

(2-2)

$D_{app}(t_0)$: apparent chloride diffusion coefficient determined at a reference time t_0 [m²/s]

α : aging exponent indicating the decrease over time of the apparent chloride diffusion coefficient [-]

D_{APP} – AGING EXPONENT



(Hooton, 2006)

A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

1. hosszú időtartamú módszerek

- „ponding” teszt
- térfogati diffúziós teszt

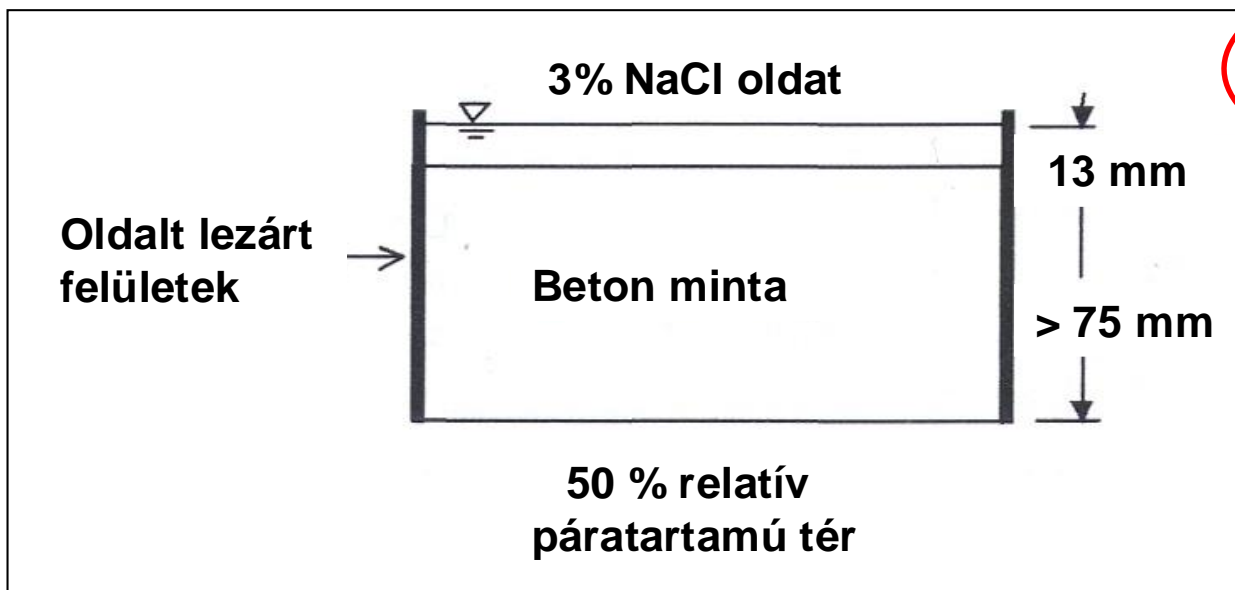
2. rövid időtartamú (gyors) módszerek

- gyors klorid penetrációs vizsgálat
- elektromos migrációs módszerek
- gyors migrációs vizsgálat (HTC)
- ellenállóképesség mérése

A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

1. hosszú időtartamú vizsgálati módszerek

1.1 „ponding” teszt a beton kloridionok behatolásával szembeni ellenálló képességének vizsgálatára AASHTO T259: „Ponding test”



szorpció +
diffúzió
együttesen hat!

Sóoldatban tárolás:
min. 90 napig!

A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

1. hosszú időtartamú vizsgálati módszerek

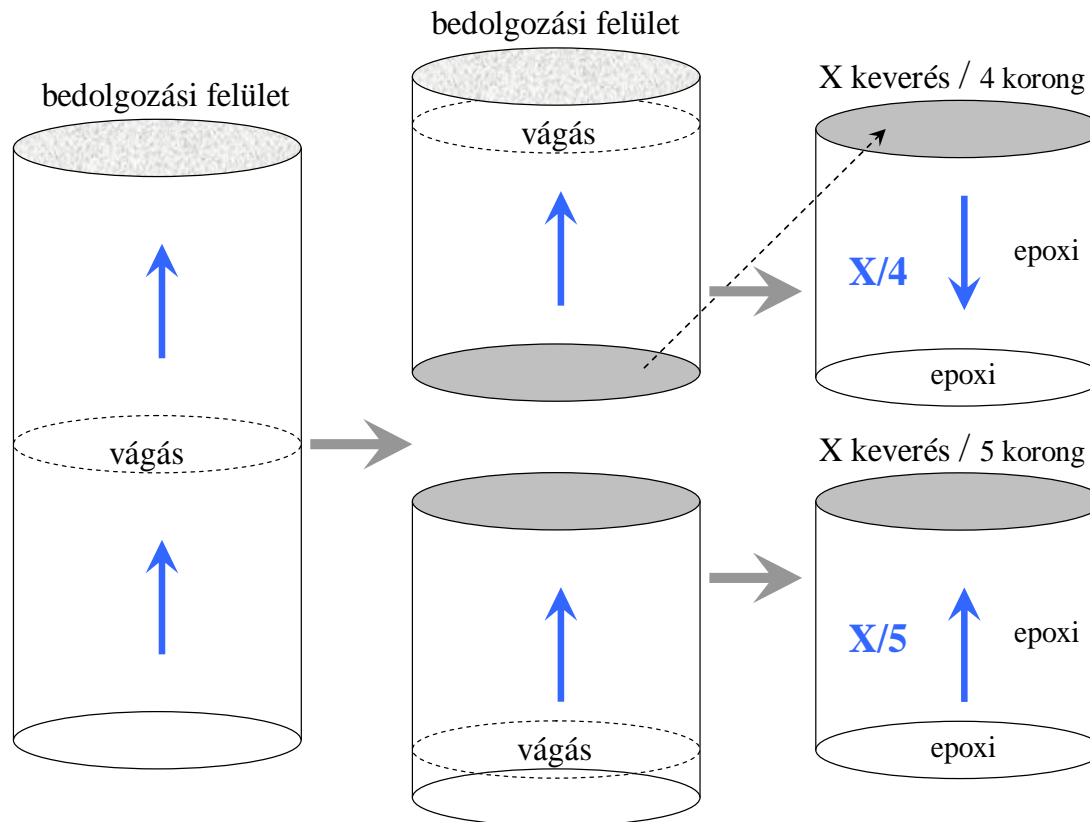
1.2 térfogati diffúziós teszt „Bulk Diffusion Test”



A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

1. hosszú időtartamú vizsgálati módszerek

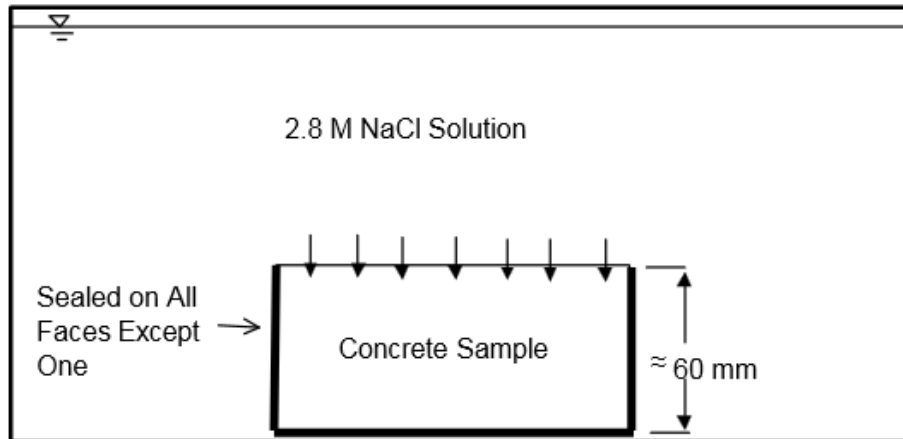
1.2 térfogati diffúziós teszt, NT Build 443



(Kopecskó, 2006)

A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

1. hosszú időtartamú vizsgálati módszerek
 - 1.2 térfogati diffúziós teszt, NT Build 443

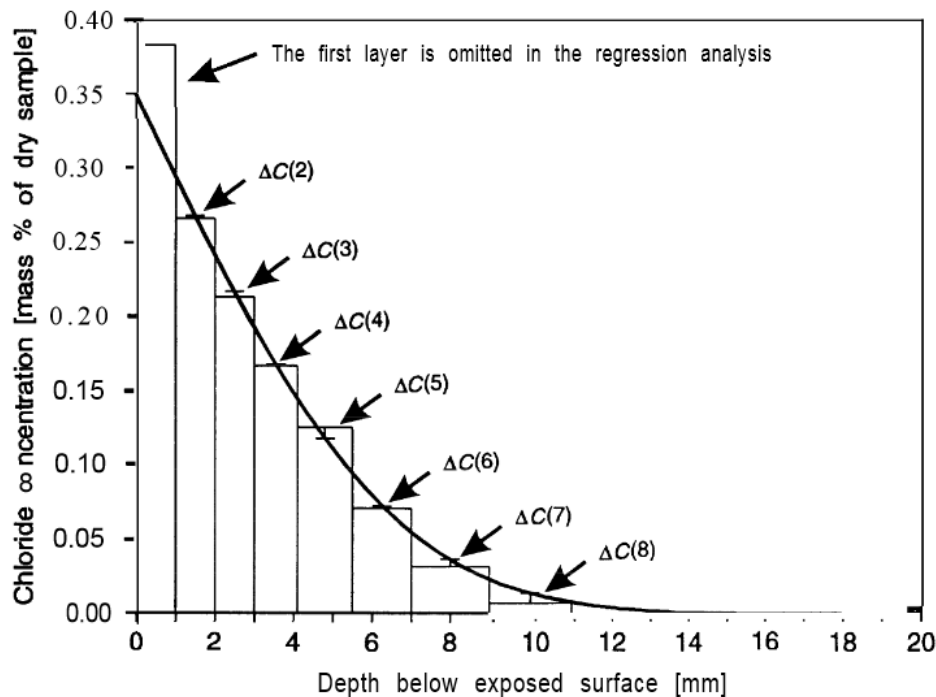


A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

1. hosszú időtartamú vizsgálati módszerek

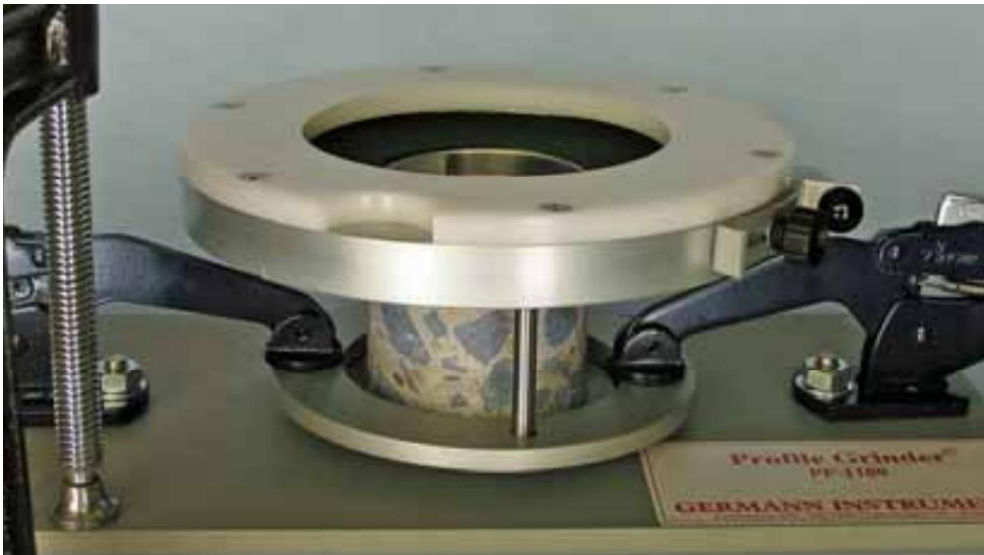
1.2 térfogati diffúziós teszt, NT Build 443

- Előkészítés: min. 28 napos korú betonon.
- Sóoldatban tárolás: min. 35 napig.



(NT Build 443)

A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI



A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

2. rövid időtartamú (gyors) vizsgálati módszerek

2.1 gyors klorid behatolási vizsgálat (RCPT)
AASHTO T227, illetve ASTM C1202

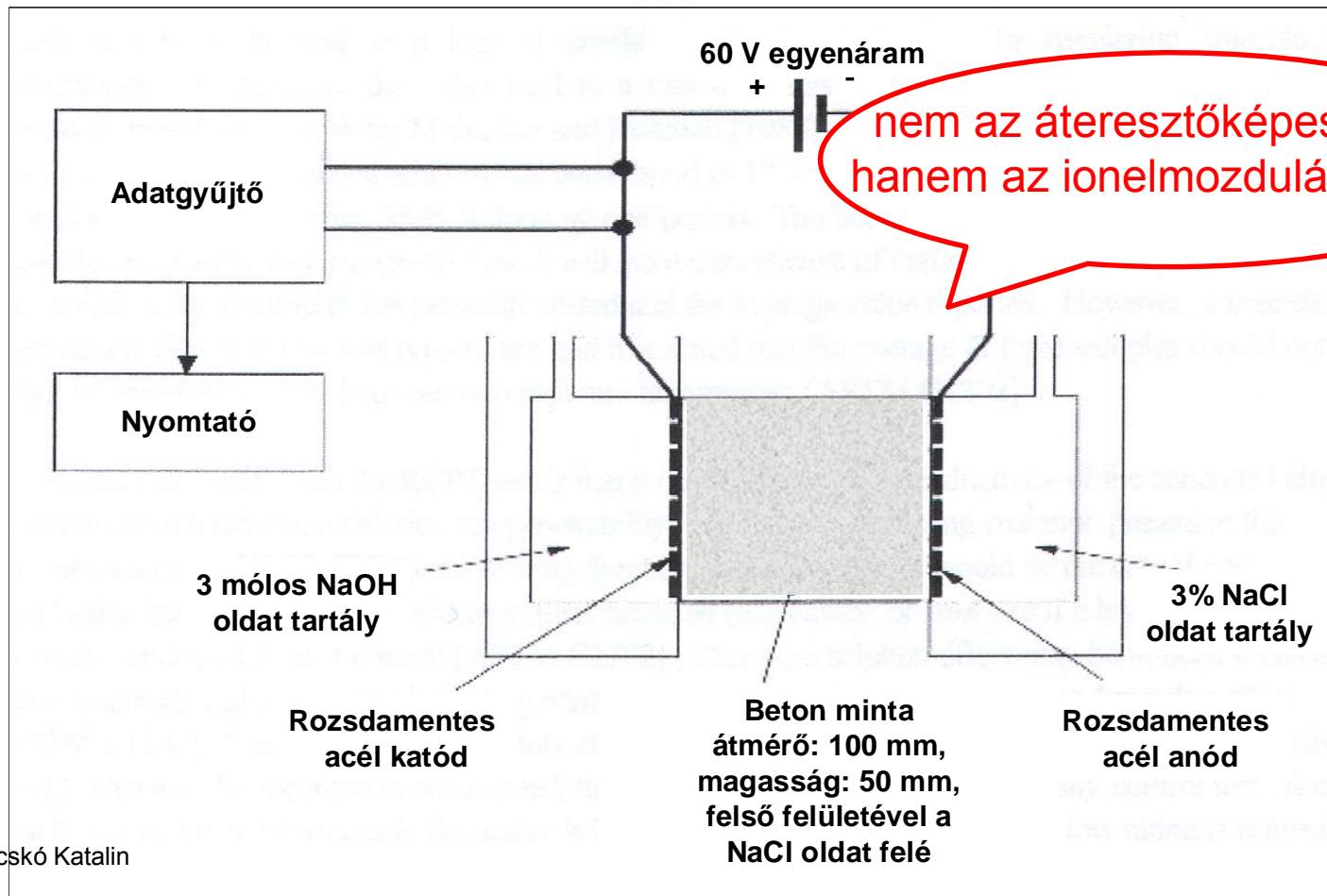
2.2 elektromos migrációs módszerek

2.3 gyors migrációs vizsgálat
HTC vagy NTBuild 492

2.4 ellenálló képesség mérése

A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

2.1 gyors klorid penetrációs vizsgálat (RCPT) AASHTO T227, illetve ASTM C1202



A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

2.1 gyors klorid penetrációs vizsgálat (RCPT) AASHTO T227, illetve ASTM C1202

- az áramerősség az összes pórusoldatban jelenlevő ion elmozdulásával arányos, nemcsak a kloridionokéval,
- a mérés még az állandósult (steady-state) állapot elérése előtt zajlik,
- a feszültség a hőmérséklet emelkedését okozza, különösen alacsony minőségű betonok esetén + a hőmérséklet emelkedése tovább növeli az időegység alatt áthaladt töltésmennyiséget,
- korróziós inhibitorok, vezetőképes szálerősítés!

A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

2.1 gyors klorid penetrációs vizsgálat (RCPT) AASHTO T227, illetve ASTM C1202

| Áthaladt töltésmennyiség (Coulomb) | A kloridionok behatoló képessége | v/c |
|------------------------------------|----------------------------------|-----------|
| 4000 < | nagy | 0,6 < |
| 2000 – 4000 | mérsékelt | 0,4 - 0,5 |
| 1000 – 2000 | kicsi | < 0,4 |
| 100 – 1000 | nagyon kicsi | |
| <100 | elhanyagolható | |

A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

2.2 elektromos migrációs módszerek

Az ionelmozdulás leírása oldatban,
elektromos tér hatására → **Nernst-Planck egyenlet:**

$$-J_i = D_i \frac{\partial C_i(x)}{\partial x} + \frac{z_i F}{RT} D C_i \frac{\partial E(x)}{\partial x} + C_i v_i(x) \quad (4)$$

where J_i is the flux of the ionic species i , D_i is the diffusion coefficient of the ionic species i , $C_i(x)$ is the concentration of ionic species i as a function of location x , z_i is the valence of ionic species i , F is Faraday's constant, R is the universal gas constant, T is the temperature, $E(x)$ is the applied electrical potential as a function of x and $v_i(x)$ is the convection velocity of i .

(Andrade, 1993)

**fluxus = tiszta diffúzió +
migráció elektromos tér hatása +
konvekció**

A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

2.3 gyors migrációs módszer HTC vizsgálat vagy NT Build 492

nordtest method

NT BUILD 492

Approved 1999–11

1(8)

**CONCRETE, MORTAR AND CEMENT-BASED REPAIR
MATERIALS:
CHLORIDE MIGRATION COEFFICIENT FROM
NON-STEADY-STATE MIGRATION EXPERIMENTS**

UDC 691.32/691.53/691.54

Key words: Chlorides, concrete, diffusion, mortar, repair materials, migration, test method

1 SCOPE

This procedure is for determination of the chloride migration coefficient in concrete, mortar or cement-based repair materials from non-steady-state migration experiments.

2 FIELD OF APPLICATION

The method is applicable to hardened specimens cast in the laboratory or drilled from field structures. The chloride migration coefficient determined by the method is a measure of the

resistance of the tested material to chloride penetration. This non-steady-state migration coefficient cannot be directly compared with chloride diffusion coefficients obtained from the

5 SAMPLING

The method requires cylindrical specimens with a diameter of 100 mm and a thickness of 50 mm, sliced from cast cylinders or drilled cores with a minimum length of 100 mm. The cylinders and cores should meet the requirements described in NT BUILD 201 and NT BUILD 202 respectively. Three specimens should be used in the test.

6 TEST METHOD

6.1 Principle

An external electrical potential is applied axially across the

A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

2.3 gyors migrációs módszer HTC vizsgálat vagy NT Build 492

NORDTEST METHOD

NT BUILD 492 8

APPENDIX 2

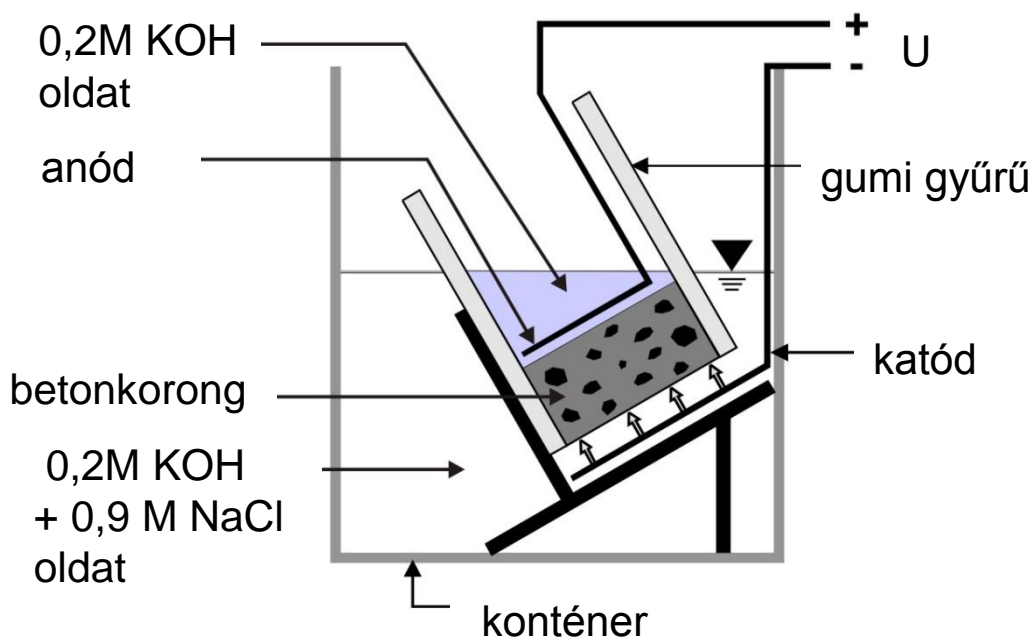
Table 1. Test voltage and duration for concrete specimen with normal binder content.

| Initial current I_{30V} (with 30 V) (mA) | Applied voltage U (after adjustment) (V) | Possible new initial current I_0 (mA) | Test duration t (hour) |
|---|---|--|-----------------------------|
| $I_0 < 5$ | 60 | $I_0 < 10$ | 96 |
| $5 \leq I_0 < 10$ | 60 | $10 \leq I_0 < 20$ | 48 |
| $10 \leq I_0 < 15$ | 60 | $20 \leq I_0 < 30$ | 24 |
| $15 \leq I_0 < 20$ | 50 | $25 \leq I_0 < 35$ | 24 |
| $20 \leq I_0 < 30$ | 40 | $25 \leq I_0 < 40$ | 24 |
| $30 \leq I_0 < 40$ | 35 | $35 \leq I_0 < 50$ | 24 |
| $40 \leq I_0 < 60$ | 30 | $40 \leq I_0 < 60$ | 24 |
| $60 \leq I_0 < 90$ | 25 | $50 \leq I_0 < 75$ | 24 |
| $90 \leq I_0 < 120$ | 20 | $60 \leq I_0 < 80$ | 24 |
| $120 \leq I_0 < 180$ | 15 | $60 \leq I_0 < 90$ | 24 |
| $180 \leq I_0 < 360$ | 10 | $60 \leq I_0 < 120$ | 24 |
| $I_0 \geq 360$ | 10 | $I_0 \geq 120$ | 6 |

Note: For specimens with a special binder content, such as repair mortars or grouts, correct the measured current by multiplying by a factor (approximately equal to the ratio of normal binder content to actual binder content) in order to be able to use the above table.

A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

2.3 gyors migrációs módszer HTC vizsgálat vagy NT Build 492

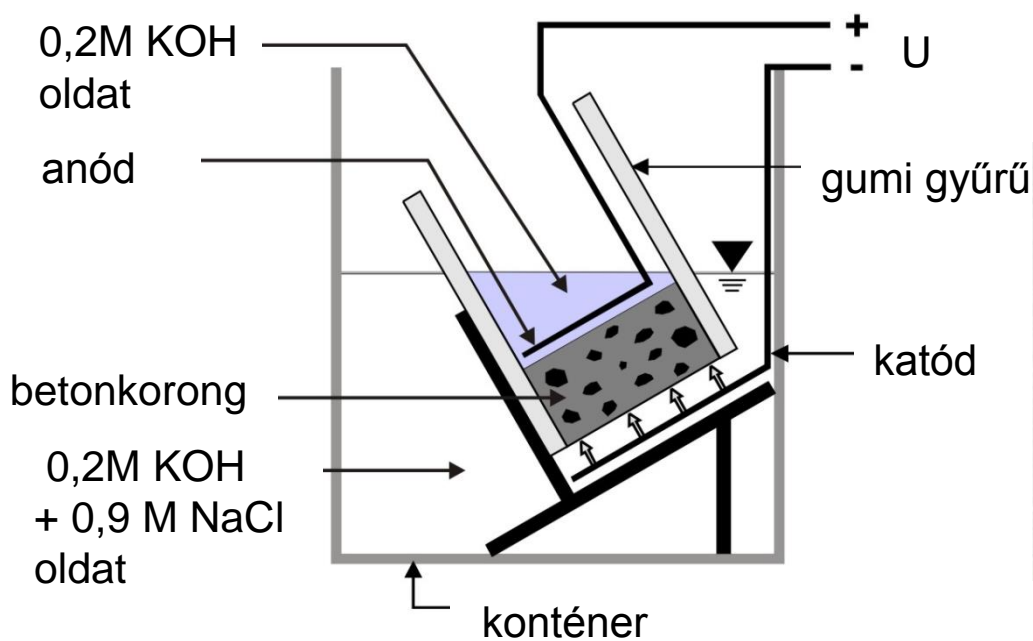


(Tang - Nilsson, 1992)



A KLORIDION BEHATOLÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI

2.3 gyors migrációs módszer HTC vizsgálat vagy NT Build 492



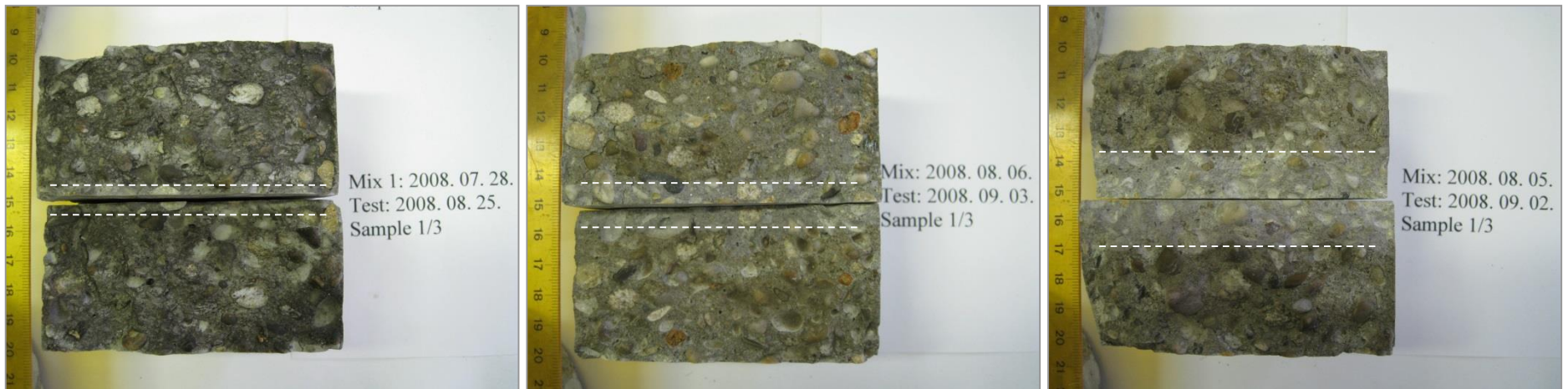
(Tang - Nilsson, 1992)

$\text{AgNO}_3 \rightarrow \text{AgCl}_2$
fehér csapadék,
ha $C_{\text{Cl}^-} \geq 0,07 \text{ n}$

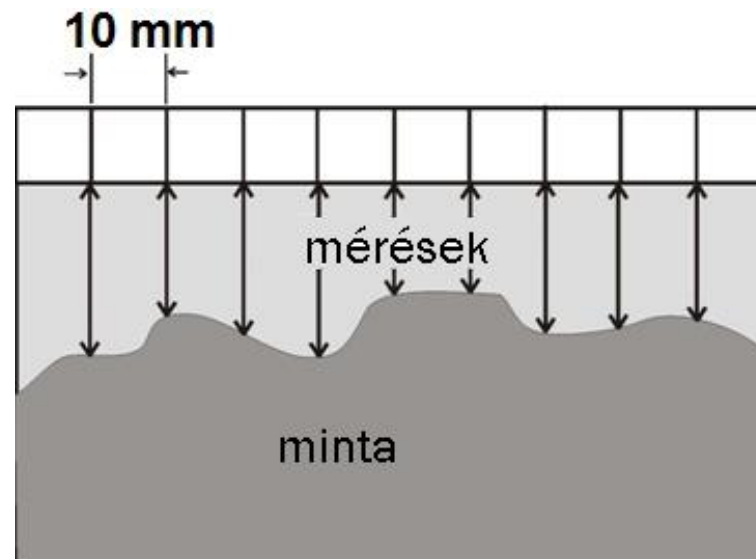


(Fotó: Kopecskó K.)

KLORIDION BEHATOLÁS MÉLYSÉGE



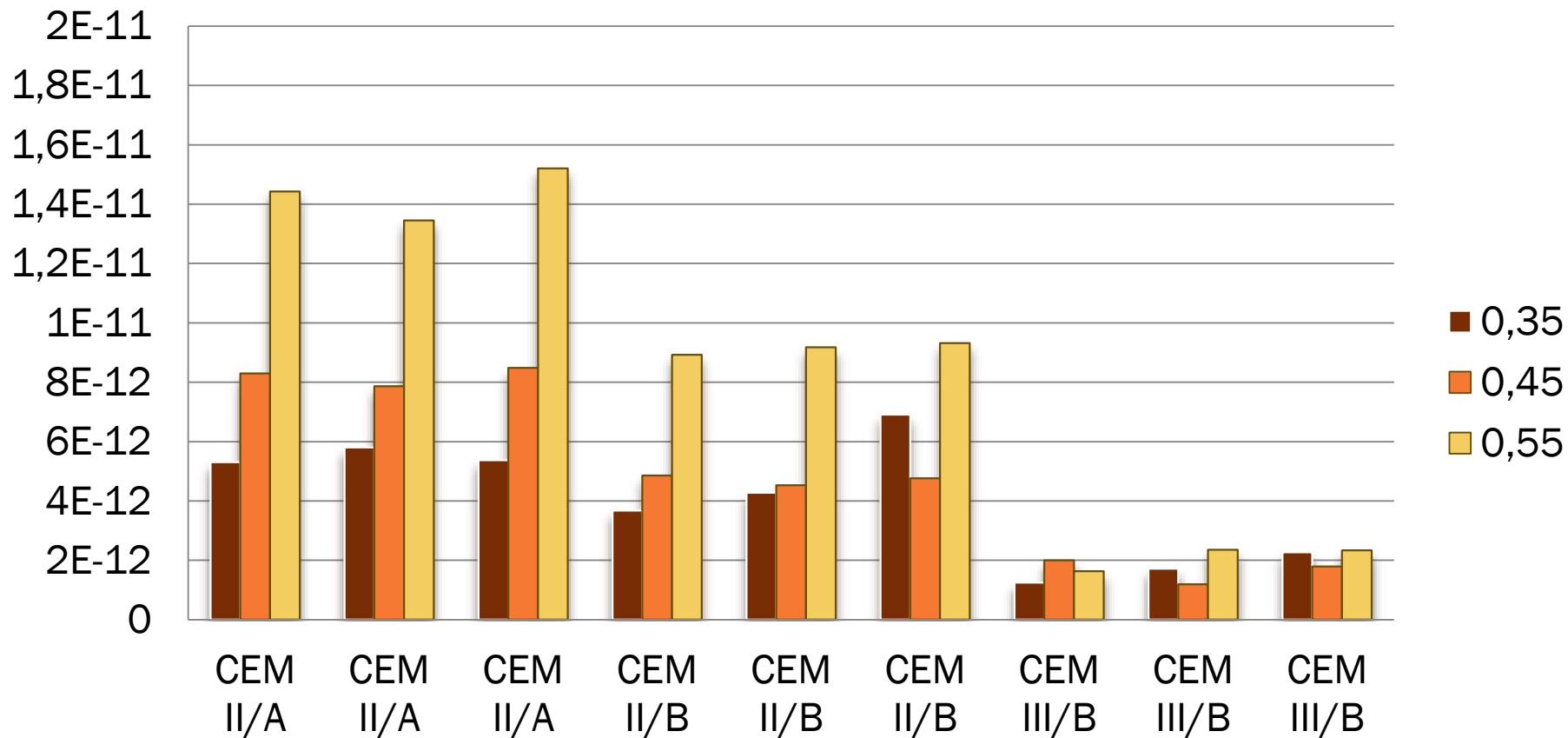
(Fotó: Kopecskó K.)



d_{\max}
 $d_{\text{átlag}}$

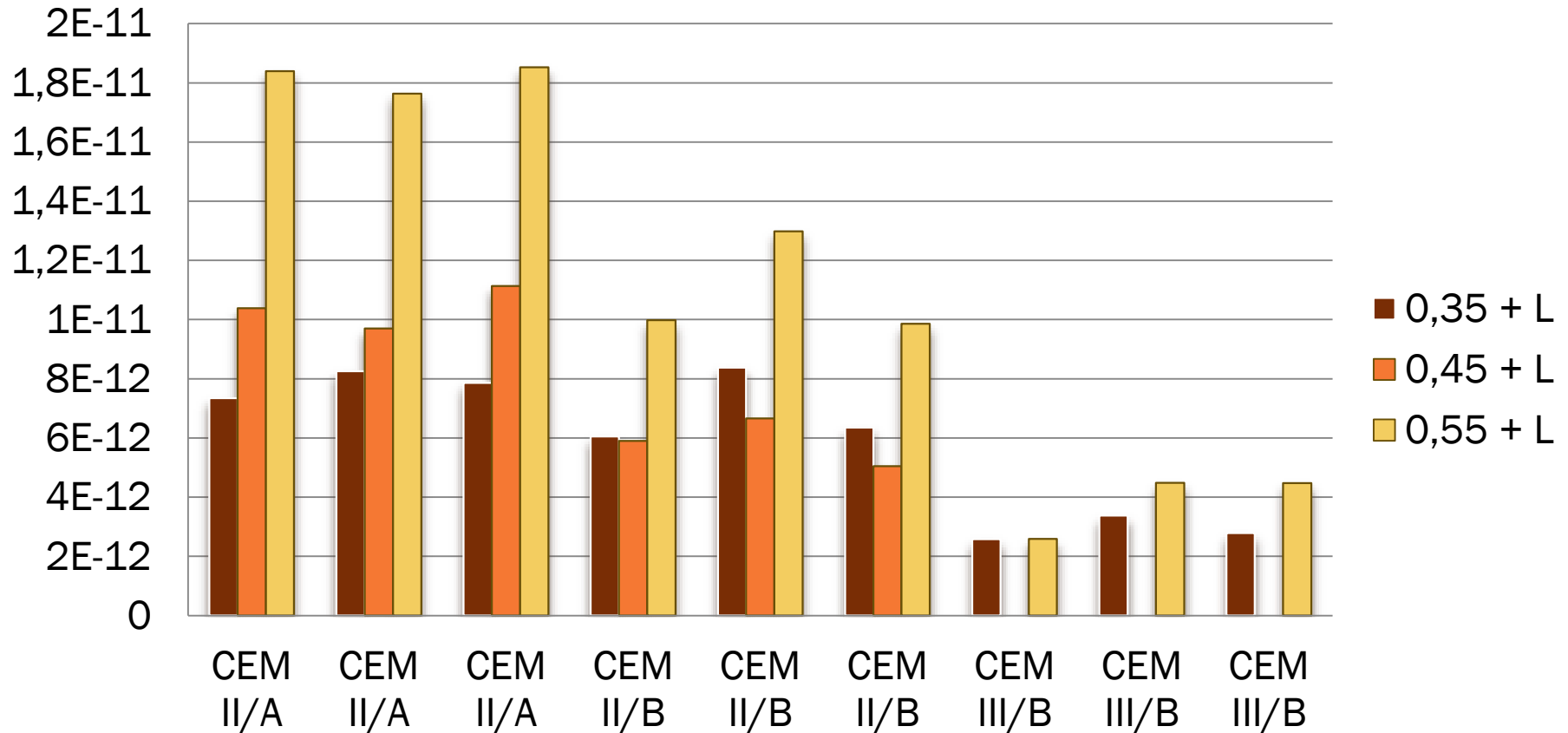
D_{NSSM} ($D_{RCM,28}$)

Diffúziós koefficiensek, légbuborék képző nélküli minták



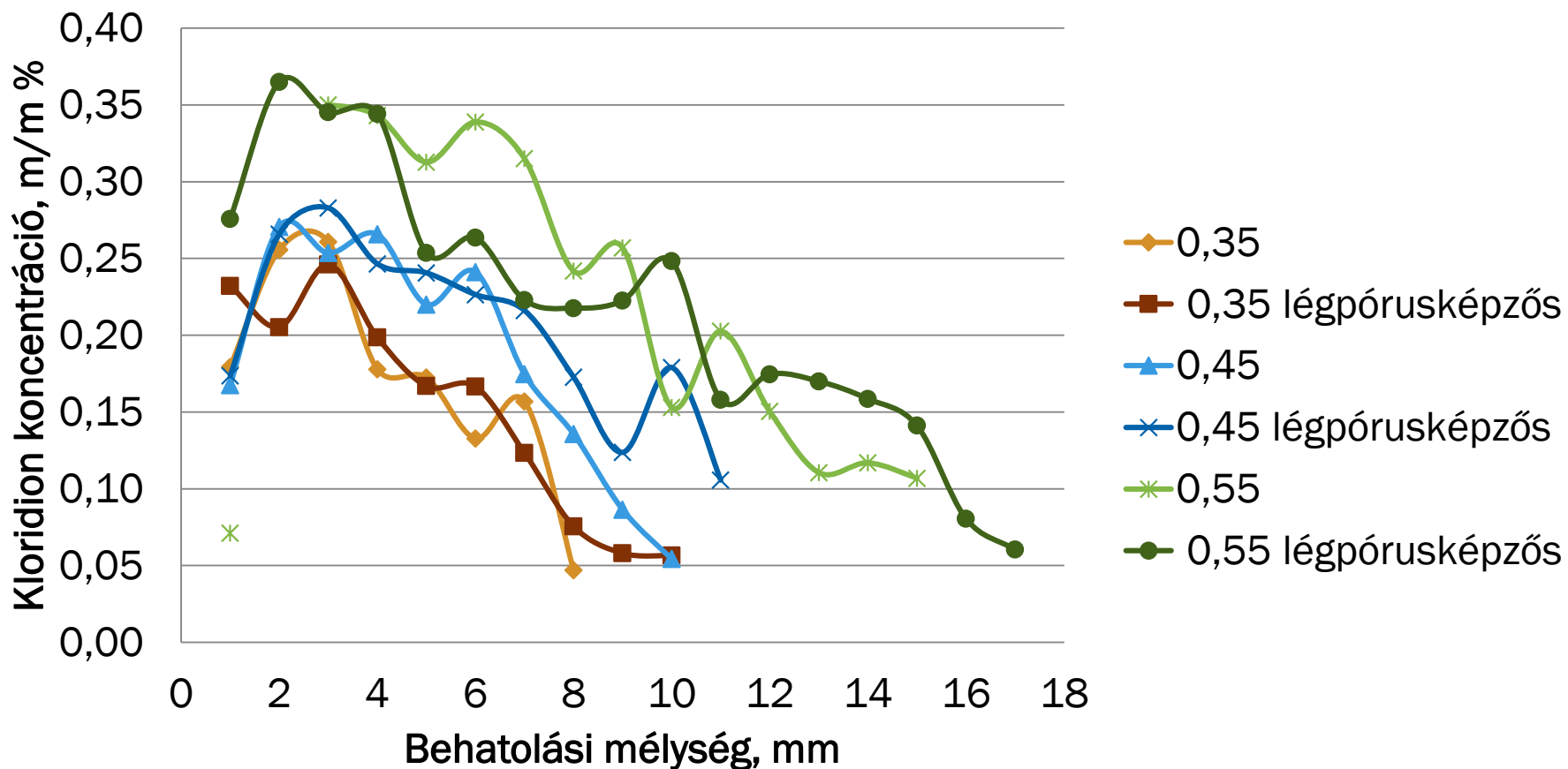
D_{NSSM} ($D_{RCM,28}$)

Diffúziós koefficiensek, légbuborék képzős minták



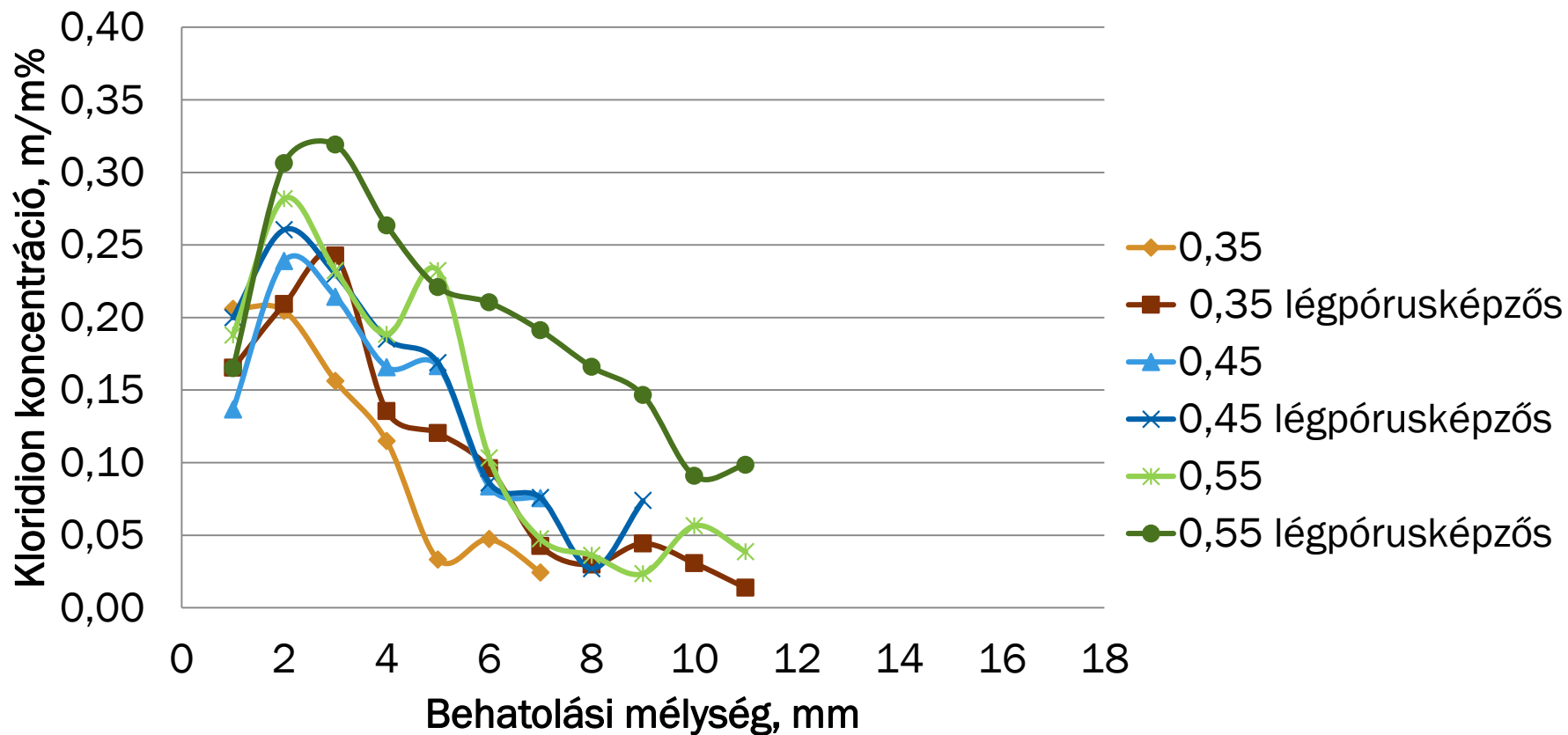
KLORIDION BEHATOLÁSI JELLEGGÖRBÉK

CEM II/A-S 42,5 N



KLORIDION BEHATOLÁSI JELLEGGÖRBÉK

CEM II/B-S 42,5 N



ELTÉRÉS A FICK II. TÖRVÉNYTŐL

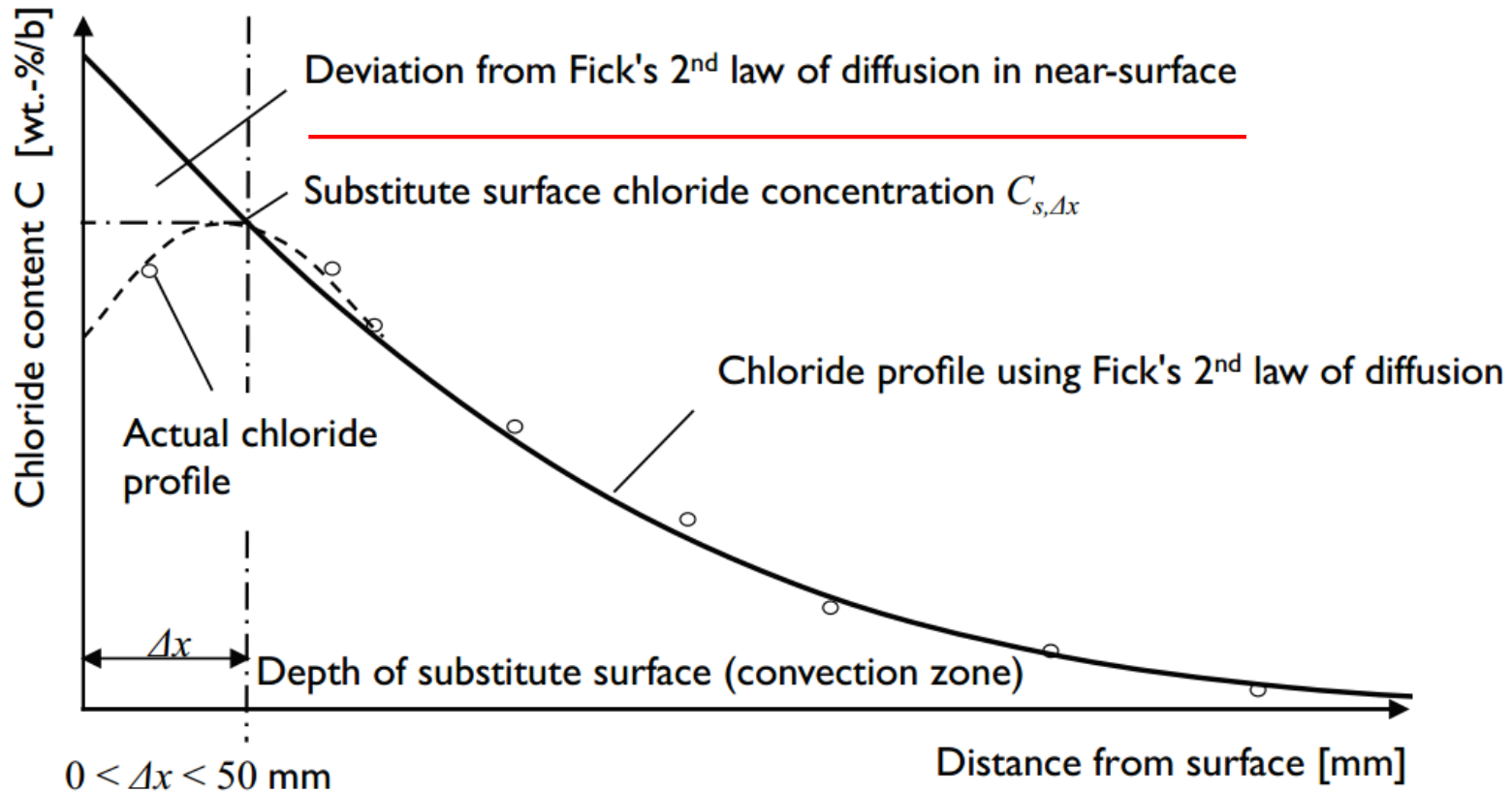


Fig. 2-1 Near-surface deviation of chloride profiles from Fick's law of diffusion in the convection zone

$D_{APP} - D_{RCM,28}$

2.2.2.4 Determining $D_{app}(t)$ by means of chloride profiles from field data and a Rapid Chloride Migration test (Approach B)

In this approach the apparent chloride diffusion coefficient $D_{app}(t)$ is determined by means of equation 2-5:

$$D_{app,B}(t) = k_e \cdot D_{RCM}(t_0) \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^{\alpha_B} \quad (2-5)$$

with:

$D_{app,B}(t)$: apparent chloride diffusion coefficient [m²/s]

$D_{RCM}(t_0)$: chloride migration coefficient [m²/s]

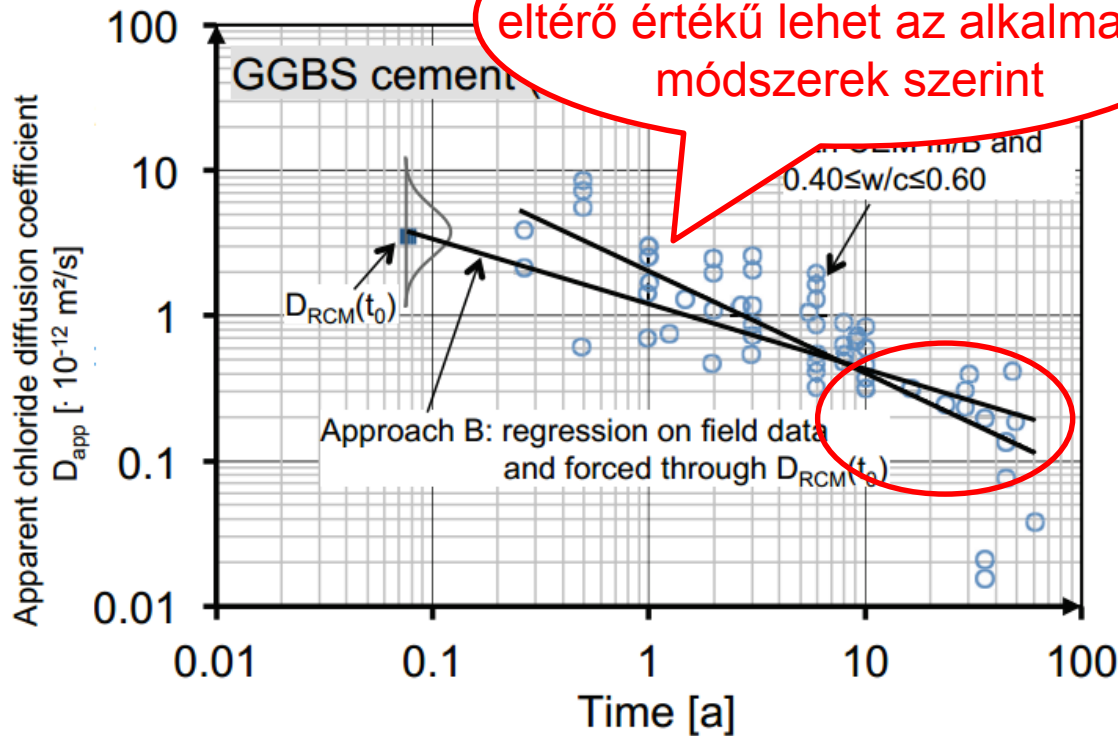
t_0 : reference point of time (reference test is performed, which is equal to the period of curing the samples in fresh water [s])

α_B : aging exponent, according to Approach B [-]

k_e : environmental variable [-] that takes into consideration the effect of temperature on chloride ingress in concrete (see Section 2.2.4.4)

A környezeti változóval
figyelembe veszik a hőmérséklet
hatását a kloridbehatolásra

$D_{APP} - D_{RCM,28}$



Development of the apparent chloride diffusion coefficient $D_{app}(t)$ over time for concrete with GGBS cement (Gehlen 2000). Determination of aging exponent according to Approach B: regression analysis on $D_{app}(t)$ from field data consisting of numerous concretes with GGBS cement and a wide range of w/c-ratios (0.40-0.60) from structures in XS2 and XS3 exposure classes and forced through the chloride migration coefficient $D_{RCM}(t_0)$ from laboratory RCM test

$\alpha_B < \alpha_A$ $t \leq$ néhány hónapos mintákon,
 $\alpha_A < \alpha_B$ $t \geq 10$ éves mintákon

A BULLETIN 76 MEGÁLLAPÍTÁSAI A $D_{APP}(T)$ MEGHATÁROZÁSÁVAL KAPCSOLATBAN 1/3

Új anyagok felhasználásakor, vagy ha nem áll rendelkezésre hosszú időtartamú hatásnak kitett beton helyszíni mintáiból mérési adat



az **Approach A-t (diffúziós vizsgálat)** kell alkalmazni és az α_A **aging exponent** (kor tényező) értékét **legalább kétéves laboratóriumi kísérlettel** kell meghatározni.

A BULLETIN 76 MEGÁLLAPÍTÁSAI A $D_{APP}(T)$ MEGHATÁROZÁSÁVAL KAPCSOLATBAN 2/3

Abban az esetben, ha **elegendő mennyiségű** (és a környezeti hatásnak hosszú időn át kitett) és a **tervezendő betonhoz hasonló összetételű helyszíni minta** áll rendelkezésre,



- ebből meg tudjuk határozni a $D_{app}(t)$ értékét.
- az α_B **aging exponent** (kor tényező) és a $D_{RCM}(0)$ az **Approach B (rapid chloride migration test)** alkalmazásával határozható meg a tervezett betonon.

A BULLETIN 76 MEGÁLLAPÍTÁSAI A $D_{APP}(T)$ MEGHATÁROZÁSÁVAL KAPCSOLATBAN 3/3

Amennyiben a **helyszíni minták összetétele megegyezik a tervezett betonéval** és rendelkezésre áll elegendő hosszú időtartamú mérési adat, ebből határozzuk meg az α_A **aging exponent** (kor tényező) és a $D_{app}(t)$ értékét



A $D_{app}(0)$ -t az **Approach A (diffúziós vizsgálat)** alkalmazásával kell meghatározni a tervezett betonon.

KÖSZÖNÖM A MEGTISZTELŐ FIGYELMÜKET!