

Vasbeton szerkezetek károsodása és vizsgálata

Nem megfelelő betontechnológiák alkalmazása (esettanulmányok)

1. **Agyagtartalmú adalékanyag alkalmazása** és nem megfelelő dilatálás.
 - Vasbeton támfalszerkezet repedezése (Csokonyavisonta, Visnye)
 - Betonút és térburkolat repedezése (Hárserdő, Iharosberény)
 - Ipari csarnok alaplemezének repedezése (Balatonszentgyörgy)
2. **Nem megfelelő betonösszetétel és betontechnológia** alkalmazása
 - Vasbeton víztározó medence károsodása (Pét)
 - Monolit vasbeton gerendák zsugorodási repedezése (Csepel)
3. **Vízkezelő medencék és szerkezetének** károsodása
 - Kommunális szennyvíz betonkorróziós hatása (Bicske)
 - Hűtővíz kezelő vegyszerek korróziós hatása (Ajka)
4. **Nem megfelelő betontechnológia és korrózióvédelem** alkalmazása
 - Műtrágya alapanyag tároló tönkremenetele (Barcs)
 - Közúti híd károsodása és megerősítése (Pécs)
 - Víztorony károsodása és megerősítése (Dombóvár)
5. **Vasbeton vázszerkezet Cl^- ion okozta korróziós károsodása**
 - „Magasház” korróziós károsodása és bontása (Pécs)
 - Klórt előállító üzem vázszerkezetének károsodása (Kazincbarcika)
6. **Betonszerkezet martinsalak okozta tönkremenetele** (Miskolc)
7. **Bauxitbeton épületszerkezetek** károsodása (Budapest)

Vasbeton siló támfalszerkezetének károsodása

Csokonyavisontai tehenészeti telep, silótér (2013)

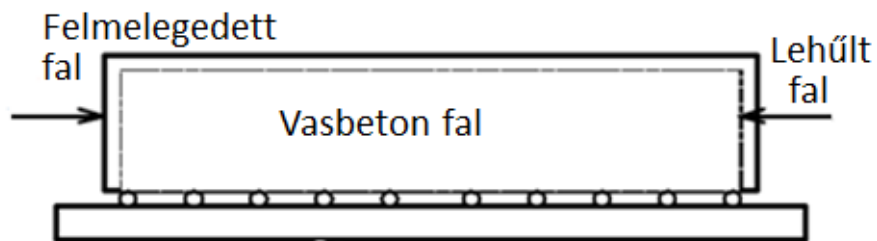
A nem megfelelő adalékanyag- és betontechnológia alkalmazása
a támfalak nem megfelelő dilatálása



A támfalon látható repedések az átszivárgó nedvességgel

Repedések a fal teljes magasságáig

A szerkezeti repedések a betonozást követően jelentek meg, a még nem terhelt falszerkezeten.



Alaplemez

Fal az alaplemezen feszültségmentesen elcsúszhat, repedés nem keletkezik.



Alaplemez

A fal alakváltozását az alaplemez gátolja, így átmenő repedések keletkeznek.

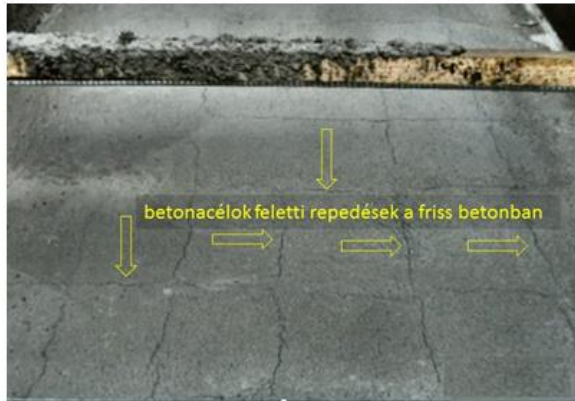


Zsugorodási repedések a támfalon és az alaplemezen

A betonszerkezetek repedését kiváltó jelenségek

①

Plasztikus zsugorodás



Védelem: Utóvibrálás

②

Termikus zsugorodás



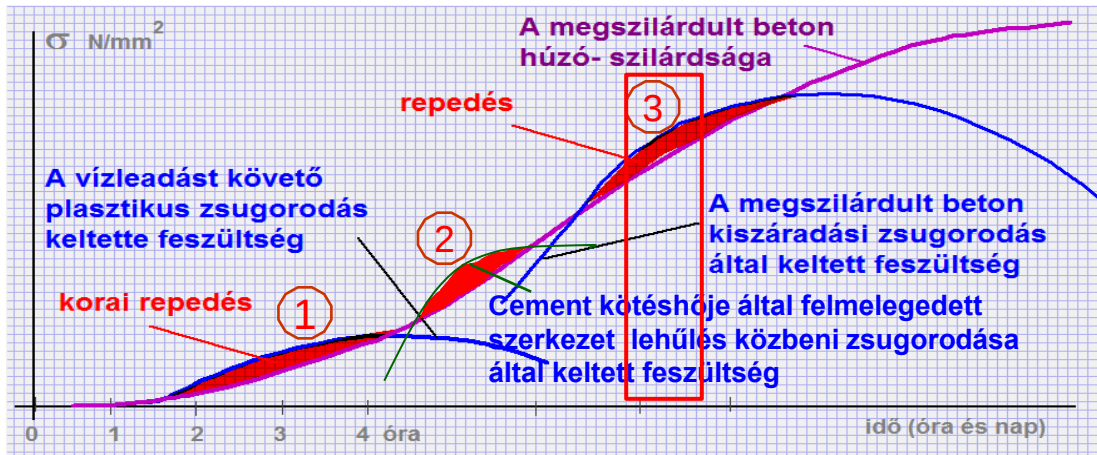
Hőszigetelő lefedés

③

Száradási zsugorodás

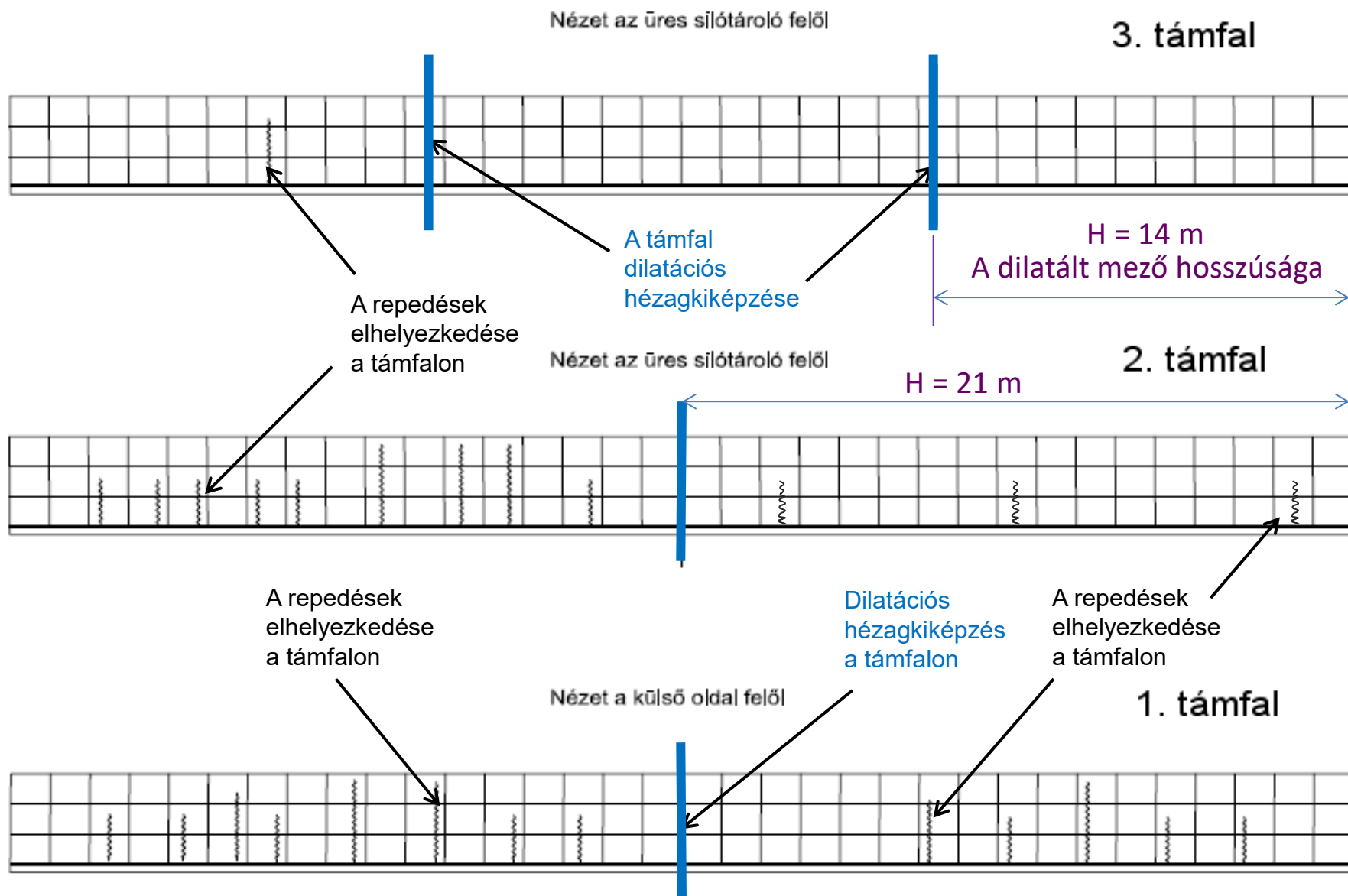


Párazárás, szálerősítés



- ① Plasztikus zsugorodás
 - gyors vízvesztés
 - töppedés,
- ② Termikus zsugorodás
 - hőmérséklet különbség
 - alakváltozás 10 ó ÷ 1 hét
- ③ Száradási zsugorodás
 - víz eltávoztása
 - térfogat csökkenés

A beton kötése- és szilárdulása közbeni zsugorodási jelenségek



A dilatációs hézagkiképzések és a repedések elhelyezkedése a támfal rendszeren

A feltáró vizsgálat megállapításai:

A kavicsszemcsék nem kötődtek a cementkőhöz.

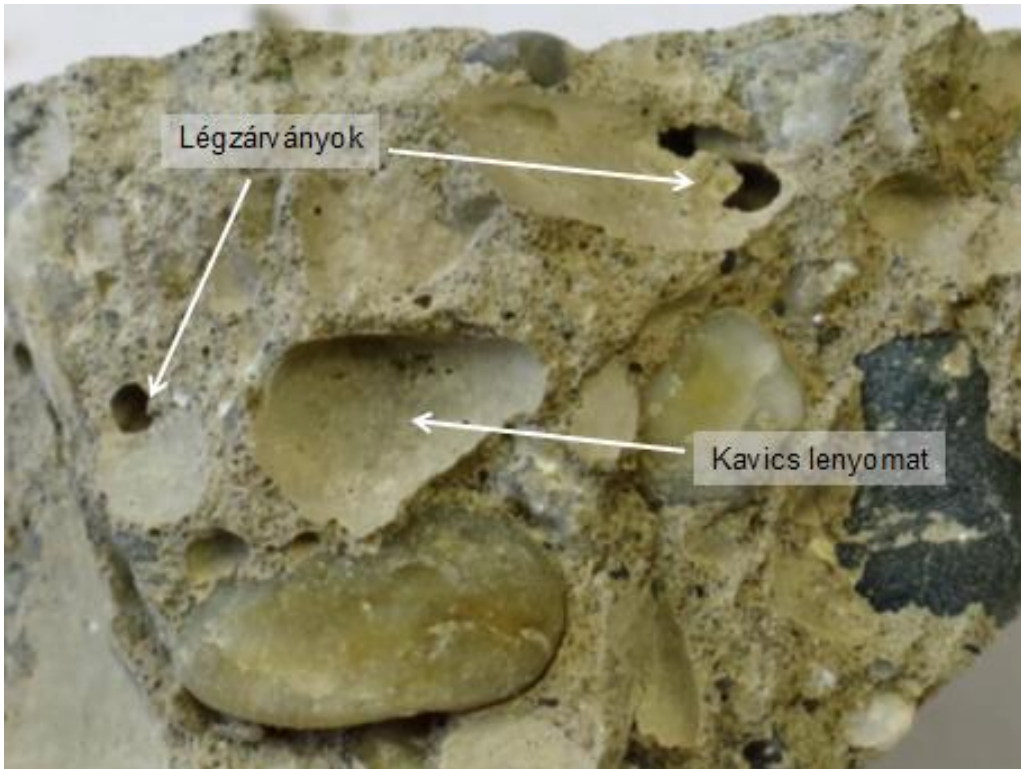
- az adalékanyagnak magas volt az **agyagtartalma**

A betonban igen sok volt a légzárvány és légpórus.

- a betont **nem tömörítették** megfelelően
- **magas víz/cement** tényezőt alkalmaztak

A betonszerkezet szakaszosan megrepedt.

- száradási zsugorodás, **alacsony húzószilárdság**



A beton töretképe a kavicsszemcsék lenyomataival



Vasbeton siló támfalszerkezetének károsodása

Visnyei tehenészeti telep, silótér (2013)



A nem megfelelő adalékanyag- és
betontechnológia alkalmazása
a támfalak nem megfelelő dilatálása

A vasbeton siló állapota

A 33 m hosszúságú, 3 m magasságú, vtg. = 25 cm vasbeton támfalakon 0,2 ÷ 0,6 mm vastagságú és a falszerkezeten áthatoló repedések vannak, melyek a betonszerkezet szilárdulás közbeni zsugorodásakor keletkeztek.

- a dilatációs hézag nélküli (33m) támfalon 6 db. repedés
- a dilatált 21 méteres falszakaszon 2 darab repedés
- a 12 méteres szakaszon repedés nem volt látható

Igazolódik, hogy a dilatáció képzés ajánlott hossza kb. 14 m



Furatminta vétel a vasbeton siló támfalszerkezetéből



*A támfalból kifúrt **minta szétválása** a betonacélok környezetében*



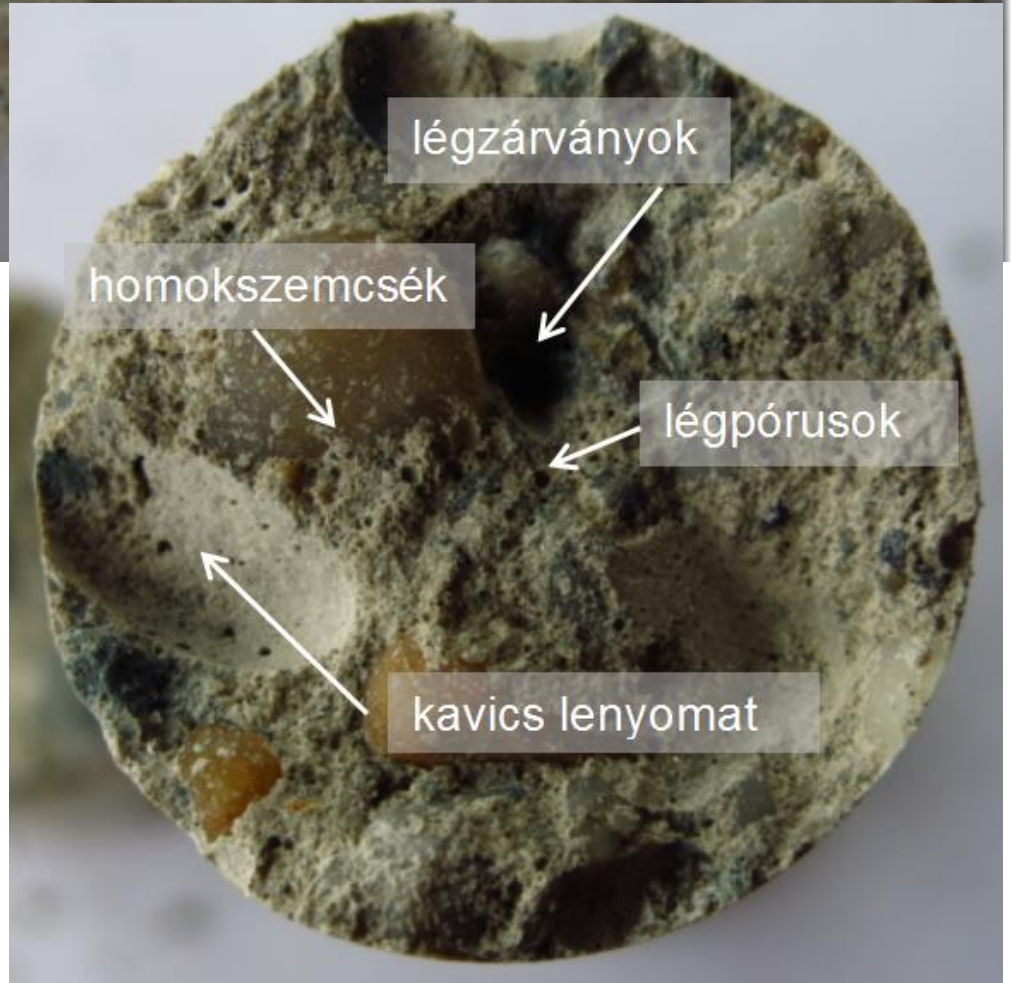
***Nem megfelelő tapadás** a betonacél és a beton között*

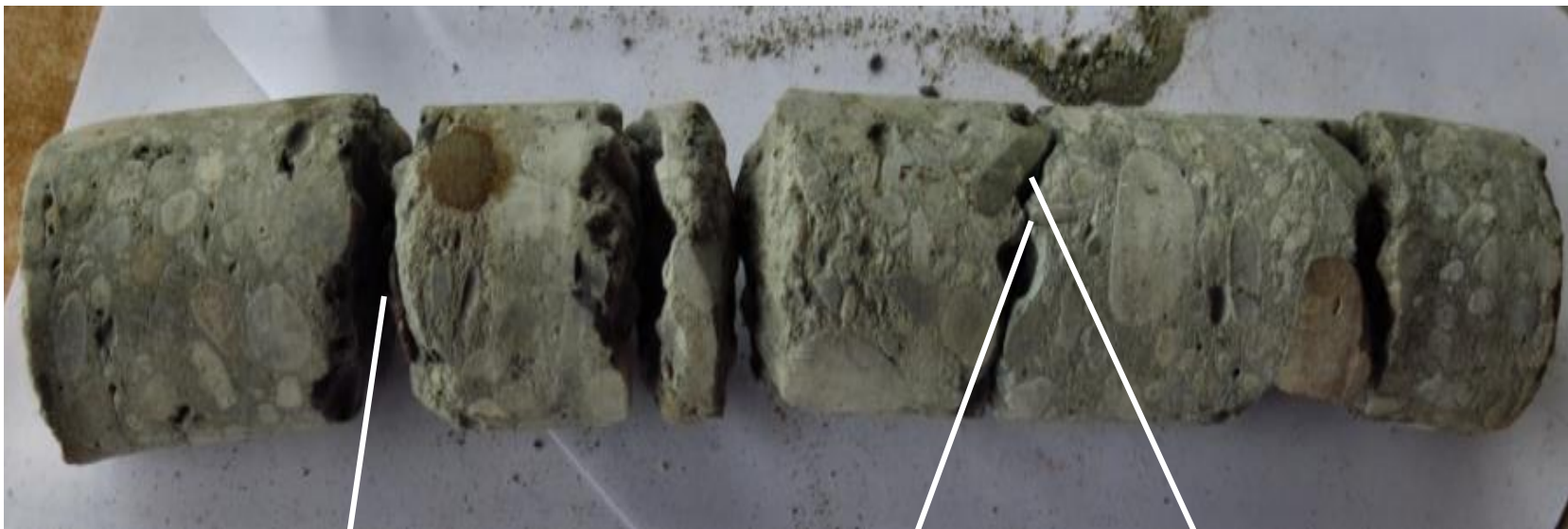


A támfalból fúrt hengerminta

A cementkő pórusossága és a homokszemcsék alapján, a betonkeveréket sok vízzel készítették, vagy **utólagosan felvizezve átkeverték.**

A furatminta töretfelületének betonstruktúrája





A Visnyei silótároló betonajzatából vett furatminta és töretfelülete



A vizsgálatok tapasztalatai:

1. **Nem volt megfelelő a betontervezés:** C20/25 – XC1 – XA1 – 24 – F3
A mintákon megállapított nyomószilárdság: $f_{c1} = 16,6 \text{ N/mm}^2$
A megfelelő betonminőség: **C30/37– XC3 – XA3 – XV1 – XF3 – 24– F3**
2. Nem megfelelően lett kialakítva a falszerkezet **dilatációs rendszere**.
3. Az adalékanyag **bányahomokot** és agyagot is tartalmazott.
4. Helyszínen végrehajtott **utólagos vízadagolás** és átkeverés.
Betontechnológiai hibák miatt a vasbeton silót javítani (védeni) kell.

Javítási mód:

1. A támfalszerkezet **repedéseinek kiinjektálása**
 - PENETRON INJECT kétkomponensű vízzáró injektáló habarcs.
 - MC Injekt 2700L tömítő gyanta, betonrepedések kitöltésére.
 - Mapei Epojet epoxi alapú injektáló-, és öntőgyanta, megrepedt monolit tartószerkezetek helyreállítására.
2. A fenéklemez, az agresszív silóanyag tárolására nem alkalmas, betontechnológiai eszközökkel, gazdaságosan már **nem javítható**.
Újabb betonréteggel, vagy **aszfalt réteggel** kell lefedni.

Betonút és térburkolat károsodása

Hárserdő szarvasmarha telep etetőtéri betonútja (2013)



Nem megfelelő adalékanyag és betontechnológia alkalmazása

A helyszíni szemle tapasztalatai:

Az út betonozását követően, a térburkolaton **zsugorodási repedések** jelentek meg 6-10 méterenként.

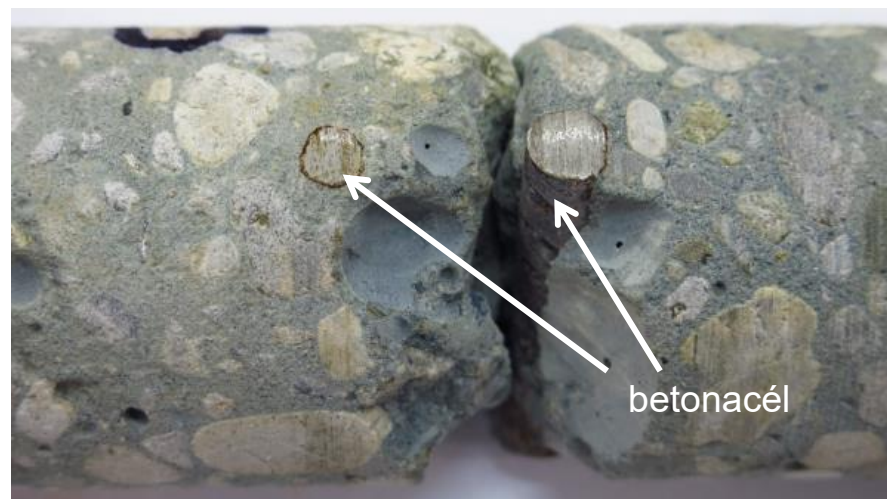
A túl mélyre helyezett acélháló nem akadályozta meg a repedezést.



Henger minták kifúrása a betonlemezről



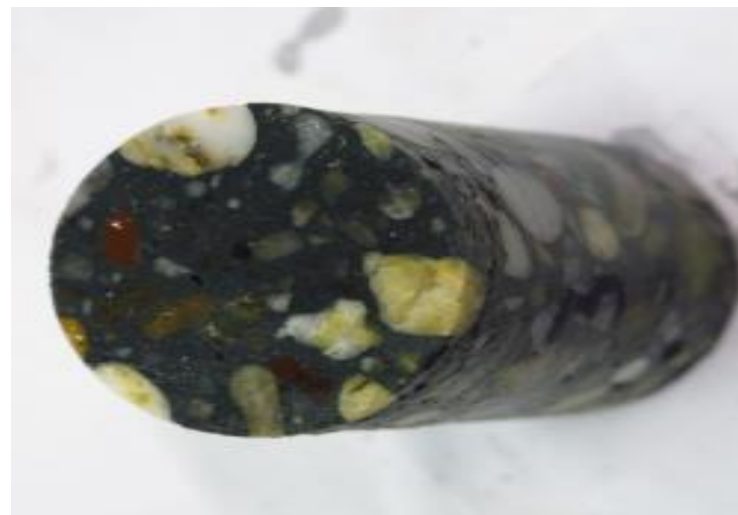
A fúrás közben széttöredezett agyagos hengerminta



A furatminta széttörése a betonacél környezetében



A beton sárga elszíneződése a bányahomok agyagtartalmától



A jó állapotban lévő tömörbeton próbatest

A helyszíni feltáró vizsgálatok tapasztalatai:

1. **Nem megfelelő minőségű** beton lett betervezve
C16/20 – XC1 – XA1 – 24 – F3 – S54 (MSZ 4798?)
C30/37 – XC3 – XA2 – XF3 – 24 – F2 – CEM II/B-S32,5N-S
2. A beton előállításához **bányahomokot is** használtak.
 - a magas agyagtartalmú bányahomok sárgára színezte betont
 - az **agyaggal bevont kavicszemek** nem tapadtak a cementkőhöz
 - csökkent a húzószilárdság és nőtt a beton **repedésérzékenysége**
 - az agyag szennyezettségű betonút **nem fagyálló**
3. A **térburkolat vasalása** nem megfelelő (a felső háló mélyen van)
nem akadályozza meg a beton felszíni repedezését.
4. Az alsó betonacél hálónál elvált a betonlemez,
a háló elhelyezése után túl **hosszú technológiai szünetet** tartottak.
5. A betonút **repedések kiinjektálása** csak ideiglenes megoldás,
mivel az agyagtartalom miatt további repedések keletkezhetnek.

Ipari csarnok alaplemezének zsugorodási repedezése

Balatonszentgyörgy sörfőzde (2013)



Nem megfelelő adalékanyag és
betontechnológia alkalmazása



Furatminta vétel az ipari csarnok alapleméből

A helyszíni szemle tapasztalatai:

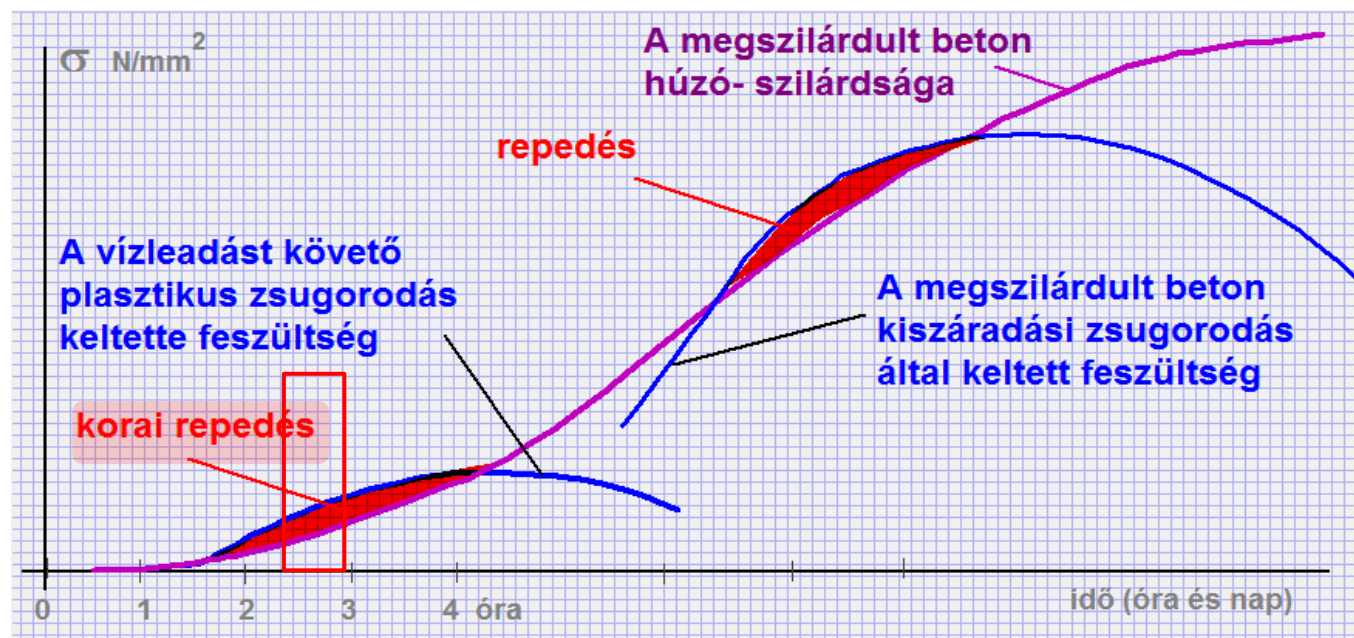
A beton **nem ipari csarnok aljzatához** lett tervezve. Pl. C20/25

A beton előállítója és szállítója nem tudta, hogy mire használják a betont.

A beton bedolgozása közönséges „**kőműves**” **technológiával** történt.

Az alaplemez betonozásakor repedések jelentek meg lemez felszínén

- a betonozást követő 2-3 óra elteltével (**plasztikus állapotban**)
- repedések már a locsolásos utókezelés előtt keletkeztek
- a szilárdulás további szakaszában nem volt repedezés



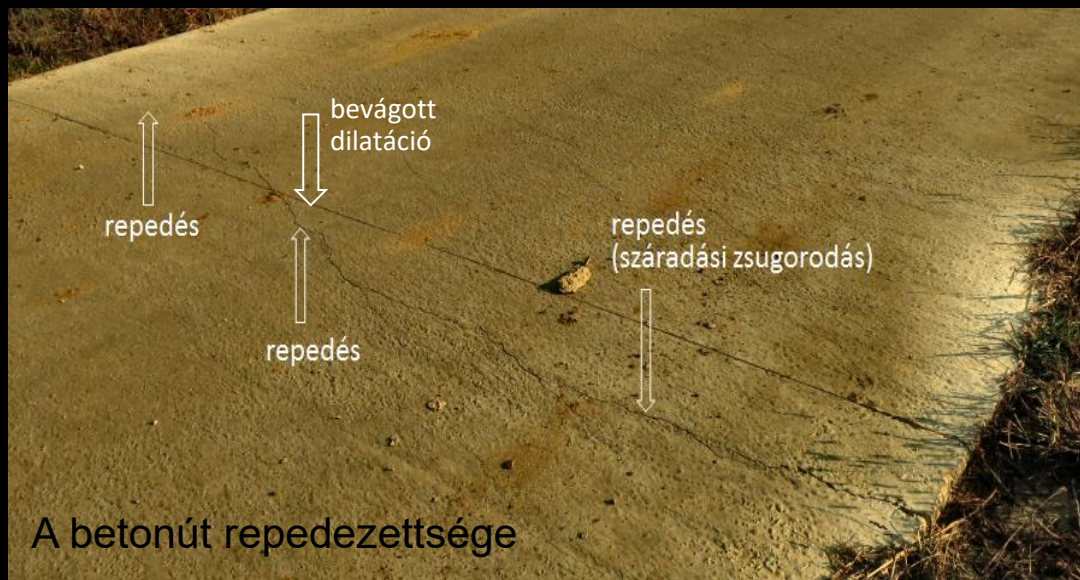
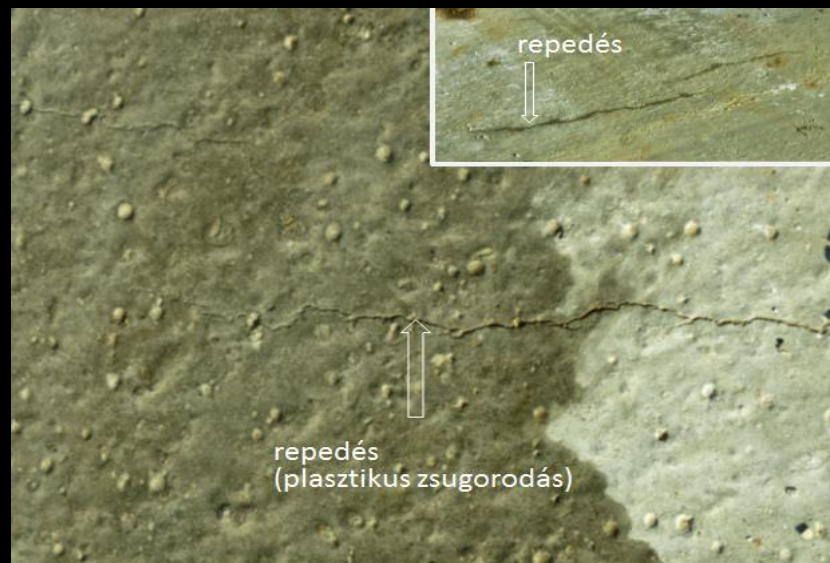
Repedések keletkezése a beton kötése- és szilárdulása közben

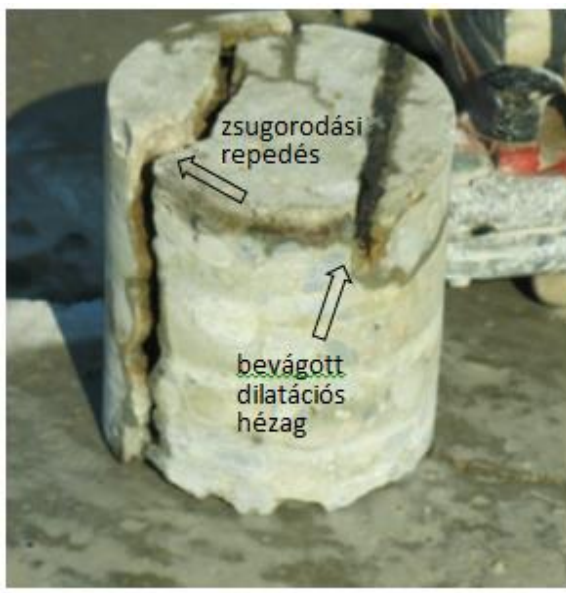


A betonaljzatból kifúrt hengerminta töretfelülete

Betonút károsodása és repedéseinek vizsgálata

Iharosberény (Pádpusztá) 2018





Zsugorodási (száradási) repedések és a fuga vizsgálata



Betonút károsodása és repedéseinek vizsgálata

Ipari út, Nagytarcsa (2020)

A betonút burkolat károsodása:

- keresztirányú zsugorodási repedések
- hajszáltrepedések hálózata

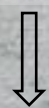
Zsugorodási
vadrepedés



A bevágás
mélysége 3 cm

A dilatációs bevágás nem megfelelő
időben és mélységben történt.

dilatációs bevágás



A zsugorodási repedés és
a dilatációs hézag (bevágás)
kereszteznek egymást.



zsugorodási vadrepedés

Monolit vasbeton szerkezetek repedésvizsgálata

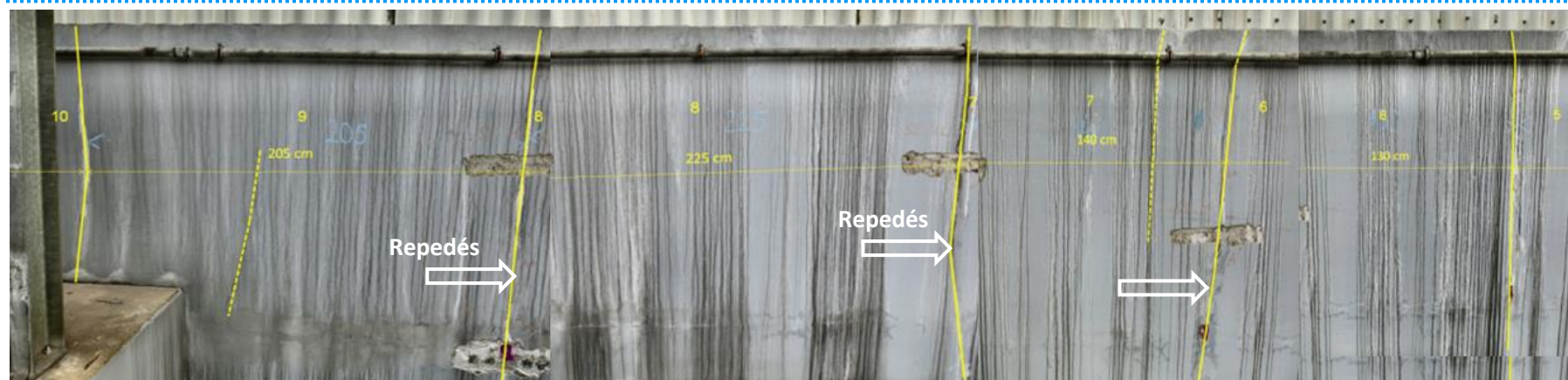
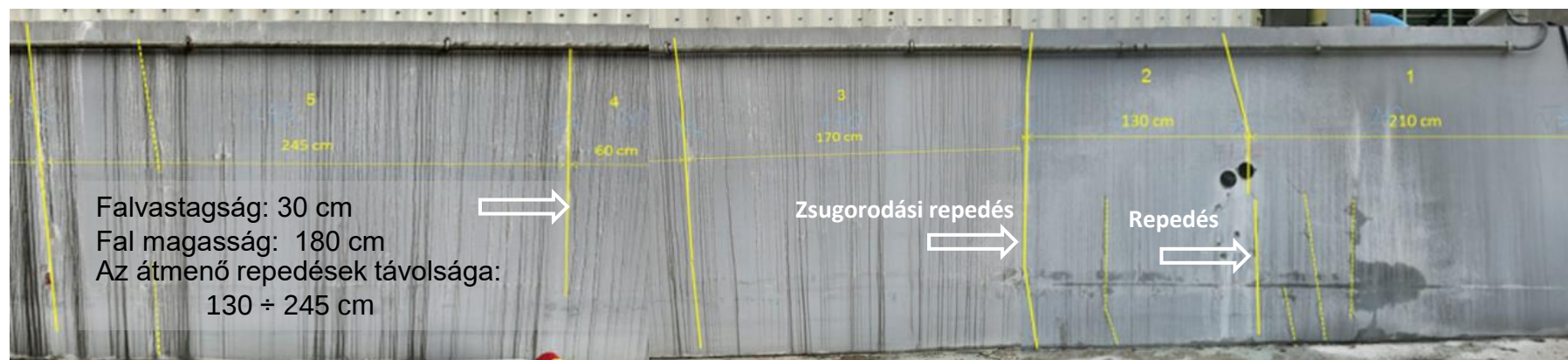
A beton zsugorodása okozta repedések (2020)

Víztározó vasbeton medence repedései.

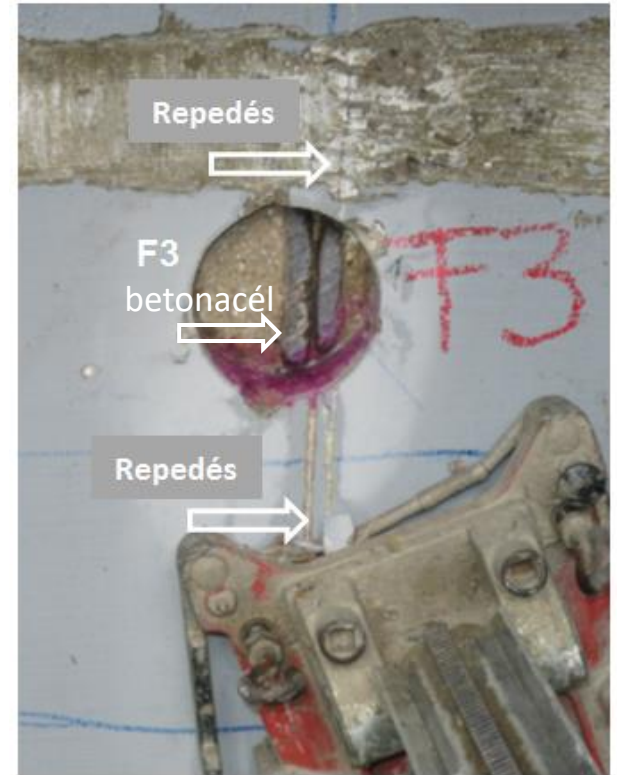
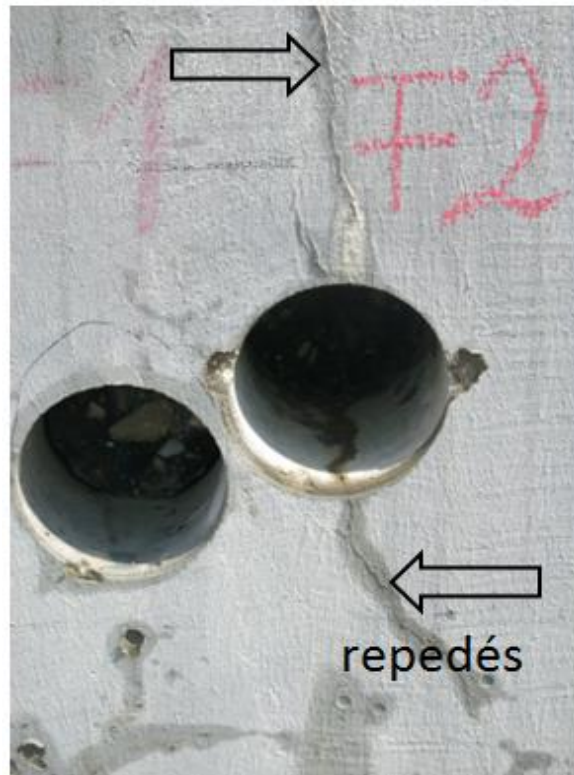


A vasbeton medence
repedezett falszerkezete

A beton száradási zsugorodásának (mozgásának) korlátozása betonacélokkal.



A víztározó vasbetonszerkezet repedés-térképe



Vasbeton víztározó medence károsodása

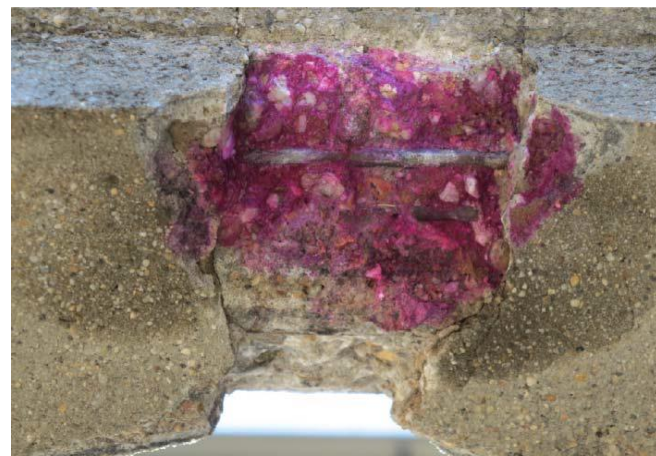
Péti Nitrogénművek (2015)



A nem megfelelő adalékanyag-
és betontechnológia alkalmazása

A víztározó vasbeton medencék károsodása:

- a medencék **elvesztették a vízmegtartó** képességüket
- **átmenő repedések** a medence oldalfalán és talplemezén
- a medencéket áthidaló vb. gerendák **korróziós károsodása**



A medence fal-, padozat- és födémszerkezetének károsodásai



Radarvizsgálatok az alaplemezen és a oldalfalon



Hengerminták kifúrása az oldalfalból és az alaplemezéből



1. sz. Az alaplemez szétmorzsolódott betonanyaga



2. sz. Az oldalfalból kifúrt magminta betonstruktúrája



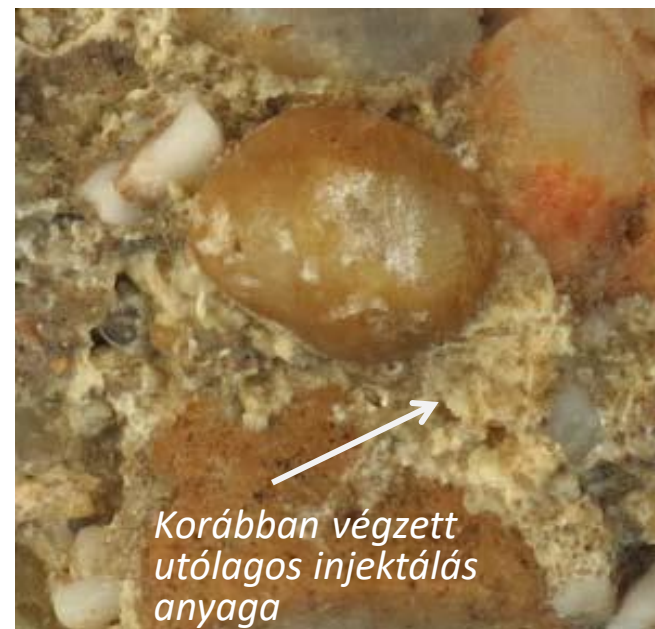
3.sz. Az oldalfalból fúrt magminta



cement szegény
betonstruktúra



4. sz. A medence oldalfalából kifúrt töredezett magminta



5. sz. A falból kifúrt szétmálló magminta egyben maradt darabja



6. sz. A medence oldalfalából kifúrt töredezett magminta



7. sz. Magminta vétel a medence alaplemezéből



A mintavétel furata



A magminta megmaradt darabjai



Cement nélküli kavics



A kifúrt henger próbatestek törés előtt és után

A helyszíni vizsgálatok eredményei és tapasztalatai:

1. A henger próbatestek szilárdsága:
 - a medence betonszerkezete igen **alacsony szilárdságú**
 - $5,2 \div 10,5 \text{ N/mm}^2$ a szilárdsági osztály: $< \text{C6/8} \ll \text{C30/37}$
2. A medence betonanyagának struktúrája:
 - fúrás közben a henger **próbatestek széttöredeztek**
 - a hengerek legtöbb esetben fúrás közben **szétmosódtak** és nem lehetett teljes hosszúságukban kiemelni
3. A medence betonanyagát 80 év alatt **károsította a korrózió** .
4. A kiemelt próbatestek betonstruktúrája és **porozitása alapján** a medence betonanyaga **nem vízzáró**.

Monolit vasbeton gerendák repedésvizsgálata

A beton zsugorodása okozta repedések



Csepel 2020



A repedezett gerenda felületek javítása

A betervezett és előállított beton:

C30/37 – XC4 – XA1 – XV2 – 16 – F2

Alkalmazott cement:

CEM II/A – **S 42,5N** 340 kg/m³

A beton repedésérzékenységet növelte:

- magas V/C, híg beton alkalmazása
- nem kis kötőhőjű cement,
pl. CEM II/A – **S 32,5N- LH** alkalmazása
- a beton nem megfelelő tömörítettsége
- **24 óra után, kizsaluzhatóság !**

Alkalmazott javítási eljárás (BASF habarcs)

MasterSeal 6100 FX szigetelő és felületvédő

1. Repedések kiszélesítése, fugavágással.
2. Felületcsiszolás, portalanítás, előnedvesítés.
3. Hígított habarcs felület kellősités, ecsettel.
4. Felület nedvesítés, permetezéssel.
5. Repedések tömítése BASF habarccsal.
6. A teljes felület bevonása ecseteléssel.
7. Függőleges felületen csak repedés tömítés.

Pécsi Árpád Híd felhajtó ágának károsodása

Nem megfelelő betontechnológia
és korrózió védelem.



Pécs 2013

Az előzetes helyszíni szemle és feltáró vizsgálat

A híd műszaki állapotának vizsgálata és a megállapítások:

- A híd **pályalemezének** betonanyaga tömör, minimális a károsodás.
A pályaszerkezet felszíni **csapadékvíz** elvezetése nem volt megoldva.
- A **szegély gerendák** dilatációs illesztési hézagai nem voltak vízzáróak.
A szegélygerendák igen súlyos korróziós károsodást szenvedtek.
- A **csapadékvíz** (sós hólé) a pályalemezről a tartópillérekre csorgott.
A tartópillérek konzolos szerkezetei **korróziós károsodást** szenvedtek.



A szegélygerendák helyszíni szemléje



A korróziós károsodás mértéke

A hídszerkezet felújítását megelőző diagnosztikai vizsgálatok

Diagnosztikai vizsgálatok

a hídszerkezet károsodásának megállapítására:

1. A híd vasbeton tartószerkezeti elemeinek betonszilárdság ellenőrzése, **Schmidt-kalapácsos** vizsgálattal.
2. **Videó-endoszkópos** vizsgálat a dilatációs hézagkiképzés korróziós állapotának ellenőrzésére.
3. A beton és betonacél **korróziós károsodásának** megállapítása karbonátosodás vizsgálattal.
4. A tartópillérek betonanyagának **szilárdság vizsgálata**, helyszínen fúrt minta alapján.
5. A betontakarás nélküli **betonacélok korróziós** állapotának vizsgálata feltárással.
6. A betonfelületek **tapadó-szilárdságának** meghatározásra a lőtt betonnal történő felújítási munkákhoz.
7. **Vízelárasztásos** vizsgálat, a vízösszefolyó- és elvezető rendszer működőképességének ellenőrzésére.



Állapot ellenőrző diagnosztikai vizsgálatok



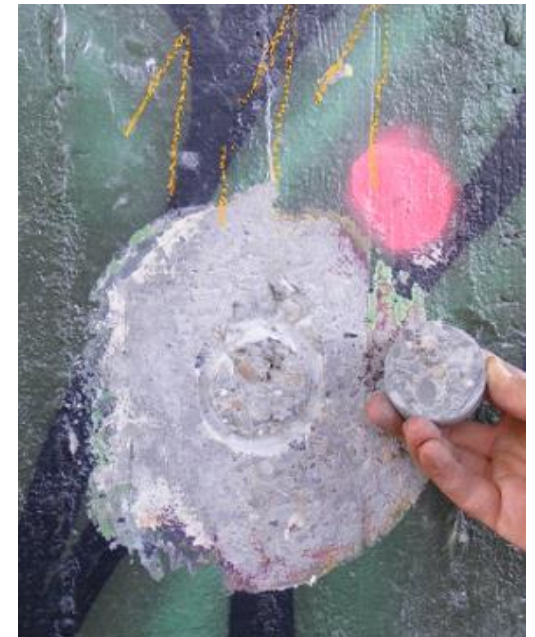
A vízösszefolyók állapot meghatározása, feltárással



A alaptest feltárása és tartópillérek szilárdságvizsgálata



A hídszegély gerendák és a pályalemez diagnosztikai vizsgálatai



A betonszerkezetek tapadó szilárdságának meghatározása



A hídszerkezet diagnosztikai vizsgálatának megállapításai

1. A feltáró vizsgálataink alapján, a **csapadékvíz elvezető** rendszer működőképes, eredeti állapotnak megfelelően helyreállítható.
2. **Szegélyelemek** a jelenlegi korróziós állapotuk miatt már nem javíthatók, teljes mértékű **cseréjükre** van szükség.
3. A **pillérek** és azok konzolos szerkezetének korróziós károsodása és műszaki állapota kritikus, azonnali **beavatkozást igényel**, a tartószerkezet teherviselő alátámasztása érdekében.
4. A **dilatációs hézagok** endoszkópos vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy a híd belső tartószerkezeti részei csak **kis mértékben** károsodtak.
5. A **pályalemezek** teljes alsó felületén vékony habarcsréteg felhordása (**lövése**) szükséges, a nem megfelelő betonacél takarás növelése céljából.
6. Már a felújítási munkálatok elvégzése előtt is, **korlátozni kell** a 20 t. feletti gépjárműforgalmat a hídon.

Rehabilitációs munkálatok és a hídmegerősítése (2013)



A dilatációs elem elhelyezése és a hídszegély javítása



A tartópillérek „lehántolása” és visszabetonozásos megerősítése

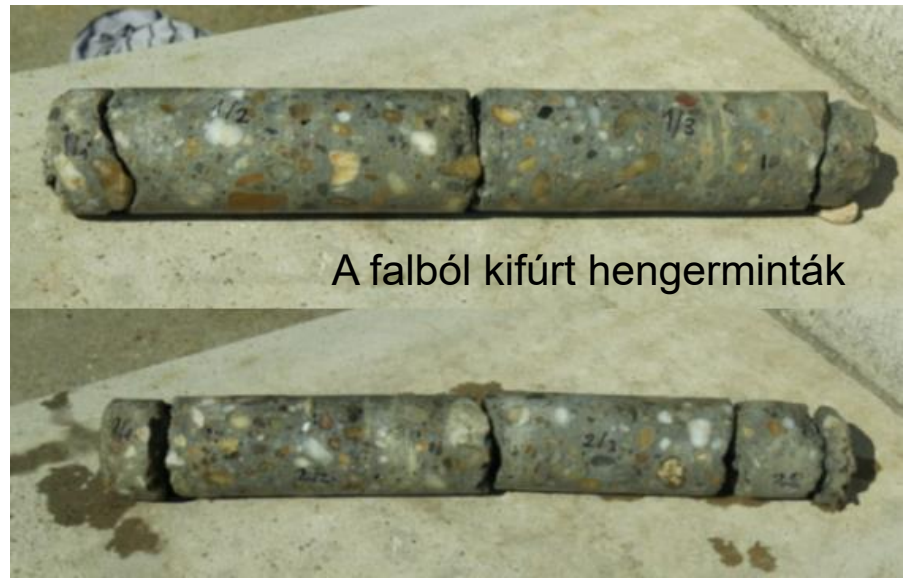


Szennyvízkezelő medence vasbeton falszerkezetének károsodása

Kommunális szennyvíz korróziós hatására



Szennyvízkezelő medence, Bicske (2019)



A falból kifúrt hengerminták

Mintavétel a károsodott falszerkezet betonanyagának vizsgálatához



Betonacélok elhelyezkedése és mélysége



A beton szilárdságának vizsgálata

A medence falszerkezetének diagnosztikai vizsgálata

Vasbeton vázszerkezet Cl^- ion okozta korróziós károsodása



*BorsodChem klórt előállító és feldolgozó vegyi üzeme
Kazincbarcika 2019*



Szerkezet károsodás
a betonacél környezetében



Szerkezet károsodás
a kengyelek környezetében



A vasbeton vázszerkezet korróziós károsodása



A vasbeton szerkezet betonanyagának vizsgálata.

- Megállapítás: 1. A betonacél környezetében lévő beton **pH értéke > 9,0** és a mintavétel mélységével arányosan növekszik.
2. A vb. szerkezet korróziós károsodását nem a CO₂ okozta. A betont korróziós hatás nem érte, és **kémiaailag stabil**.
3. A betonba jutó **kloridion reakcióba lép a vassal**, majd disszociálódik:
- $$2\text{Fe} + 3\text{Cl} = 2\text{Fe}.\text{Cl}_3 \text{ ---- } \rightarrow 2\text{Fe}^{3+} + 3\text{Cl}^-$$
- A felszabadult kloridion (Cl⁻) szabaddá válva újra reakcióba lép.
4. A beton felszínén a kloridion (Cl⁻) diffundál és kimosódik.
Kloridion (Cl⁻) tartalom > 0,20 m/m%, **agresszív betonacél korrózió!**



A vb. szerkezet jele	A mintavétel mélysége (mm)	A mért pH érték	Kloridtartalom (m/m%)
28a pillér	0 - 5	9,83	0,4
28a	5 - 10	10,73	0,42
28a	10 - 20	11,45	0,49
3 - 4 gerenda	0 - 10	9,1	0
3 - 4	10 - 20	10,91	0,32
3 - 4	20 - 30	11,47	1,27

A beton pH értékének és a karbonátosodás mélységének meghatározása

Vasbeton szerkezet sav- és klorid okozta korróziós károsodása



Ajkai Hőerőmű hűtőtorony épülete (2018)

A hűtővíz algásodásának megakadályozására Cl^- tartalmú vízlágyító- és vízkezelő vegyszereket adagolnak a vízbe:

- ezzel csökkentik a víz pH értékét (pl. hipo)
- kloridionokat (Cl^-) visznek a hűtővíz rendszerbe, mely állandó párolgással a vb. szerkezet felületére jut



Vízben álló szerkezet



Korrodált vb. vázszerkezet



Korrodált vb. vázszerkezet

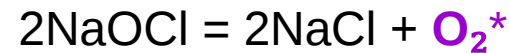


Korrodált vb. födészerkezet

Adagolt vegyi anyagok:

- hipo, nátrium-hipoklorit (NaOCl)
- klór (Cl_2) ill. sósav HCl

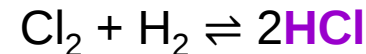
A hipo, bomlékony anyag:



O_2^* - naszcens oxigén (oxidálószer)
reakcióképes és fertőtlenít
baktériumokat elroncsolja

Sósav (HCl) keletkezése a vízben:

Klór, hidrogénnel való reagálásakor



Hipo, a sósavval, klórgázt fejleszt:



Mérgező klórgáz az egész épületben



A hűtővíz sav- és klorid tartalmának
korróziós hatása, a födészerkezet alsó
felületén mutatkozik a legintenzívebbnek



A vb. vázszerkezet tönkremenetelét okozó korróziós folyamatok:

1. Karbonátosodás CaCO_3
 $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

2. Kalcium hidrokarbonát
 Az állandó nedves közegben
 $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$

3. A hűtővíz sav- és klorid tartalma
 Az agresszív vegyi anyagok hatására a cementkő kioldódik és eltávozik a kavicsok közül.

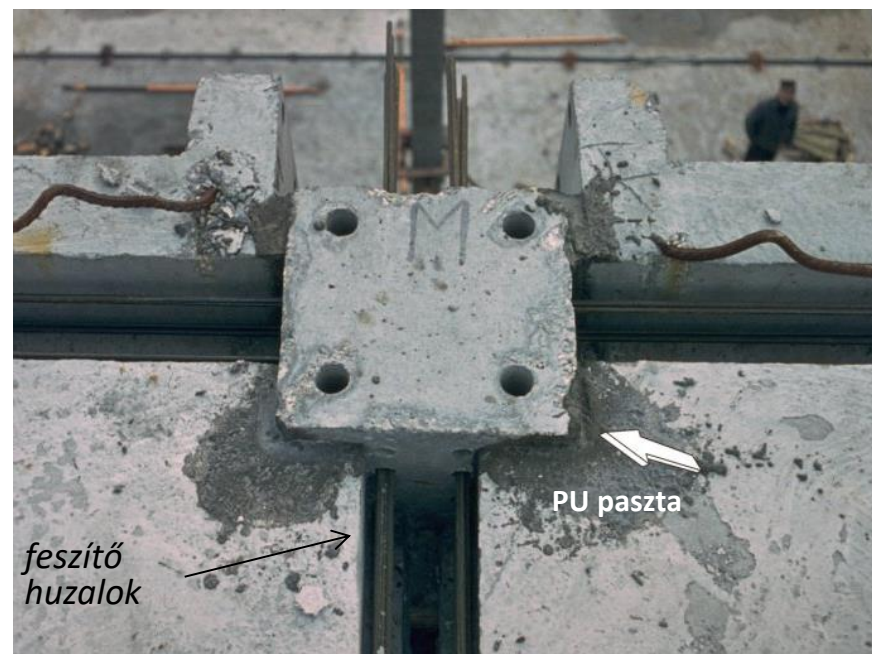
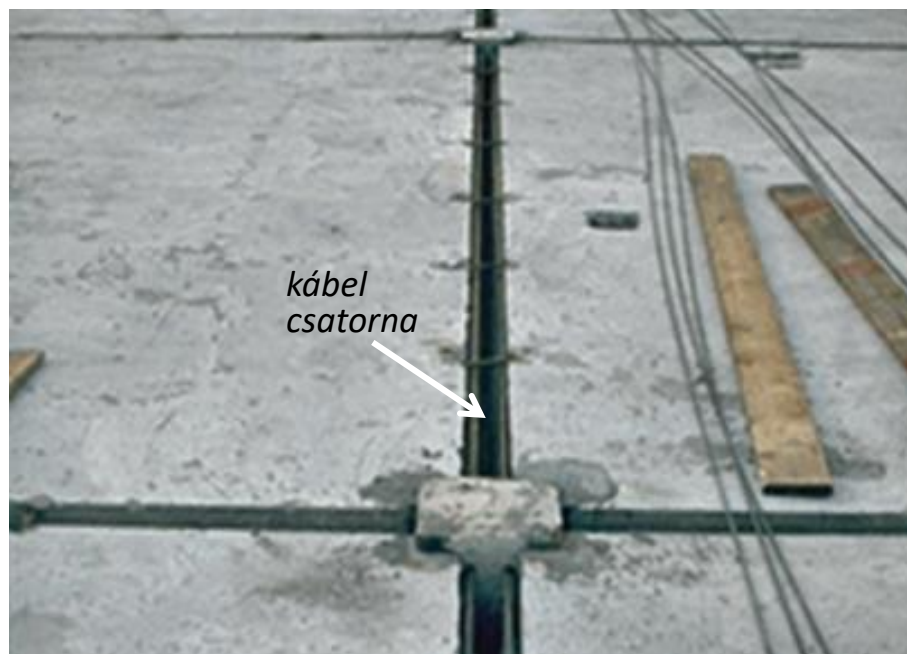
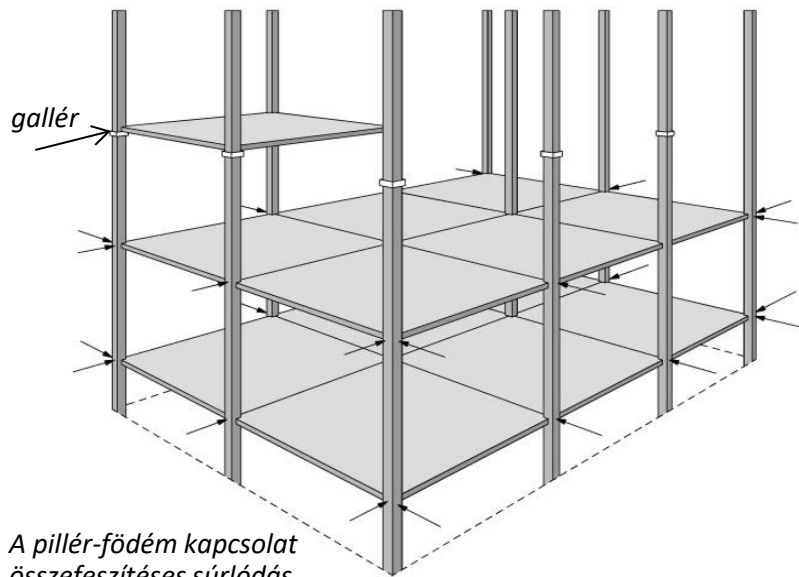
A betonacélok pedig, a sósav és a kloridionok korróziója következtében leveles formában szétmállanak és megsemmisülnek.



A pécsi „Magasház” (korróziós károsodása és bontása)



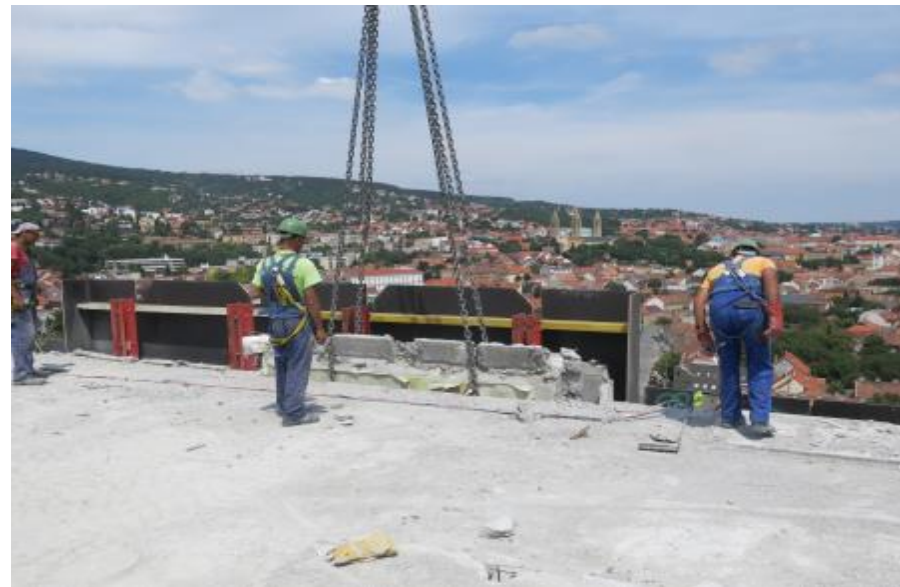
*Az épület adatai: 82m magas; 25 emelet; 18.500 m²; 252 db. lakás
Építés:1974/76 Korrózió:1983 Kilakoltatás:1989 Megerősítés:2003 Bontás: 2016*



IMS utófeszített vasbeton vázszerkezeti rendszer



Feszítő huzalok korróziója és szakadása



Homlokzati- falpanelek kiemelése az épületből (2016.)



A födémpanelek kibontása a vázszerkezetből





A Magasház bontásának üteme



Az épület északkeleti sarkának bontása



Az épület vázszerkezetének lebontása és a romok eltakarítása



A lebontást előidéző hibák és hiányosságok:

- PU paszta alkalmazása (CI-)
- kábelcsatorna laza kibetonozása
- a kábel átvezetések kiinjektálatlansága
- az építés alacsony színvonala

A lebontást indokolta:

- tőkeerős befektető és vállalkozó hiánya
- a nem gazdaságos felújíthatóság
- magas rezsi- és üzemeltetési költségek
- gazdaságos hasznosíthatóság hiánya

Betonszerkezet, martinsalak okozta károsodása

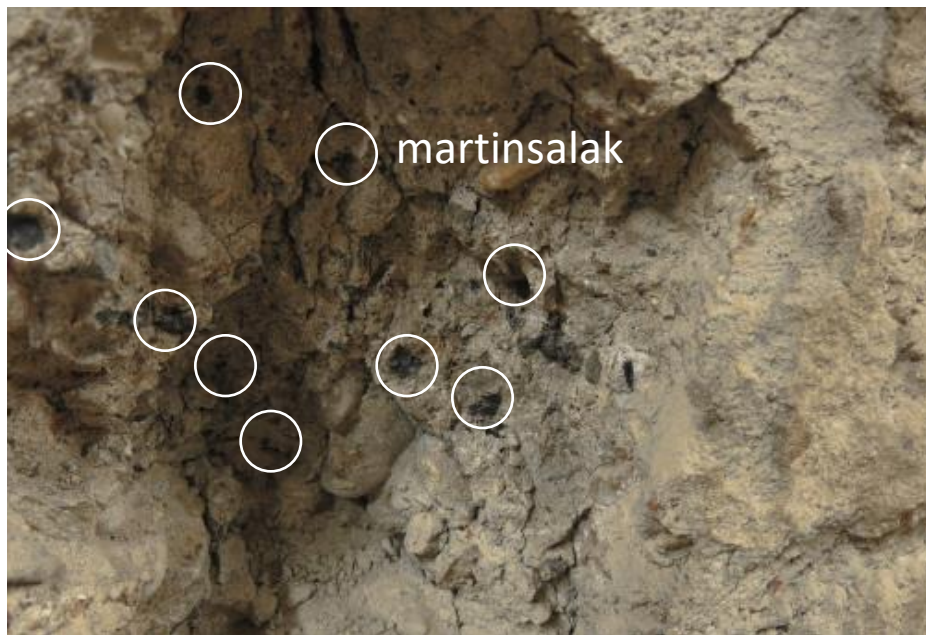
Alagsori óvóhely repedezett falszerkezete (Miskolc 2018)



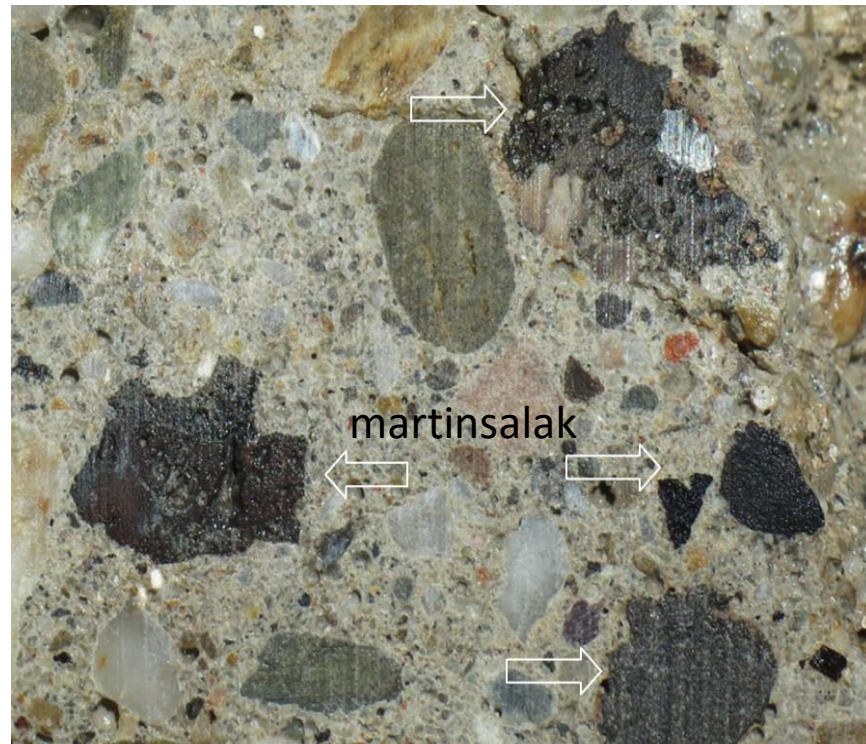
A martinsalak duzzadása által okozott repedések a falszerkezetben



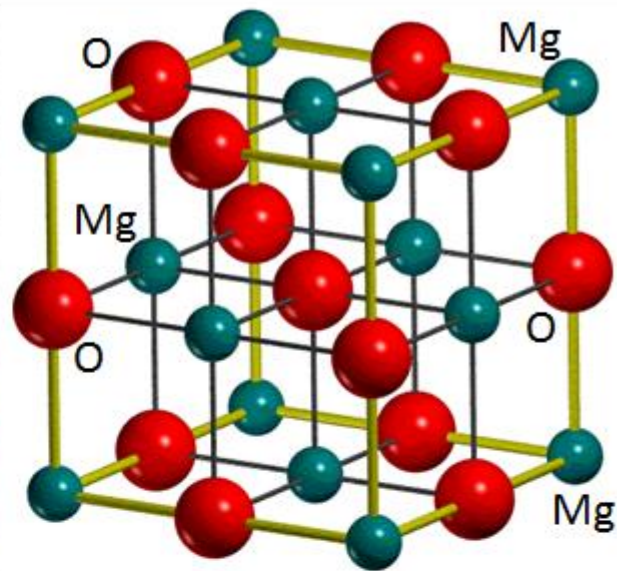
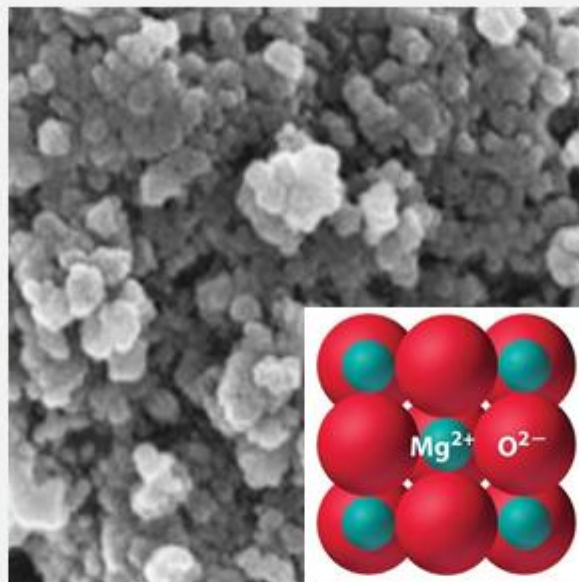
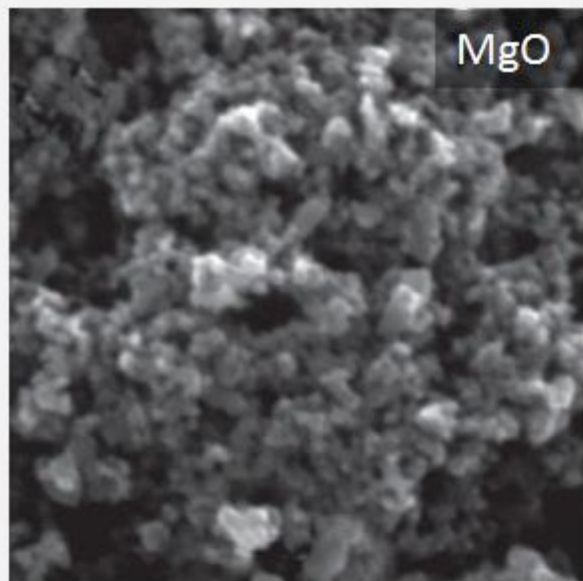
Károsodott falszerkezet feltárása



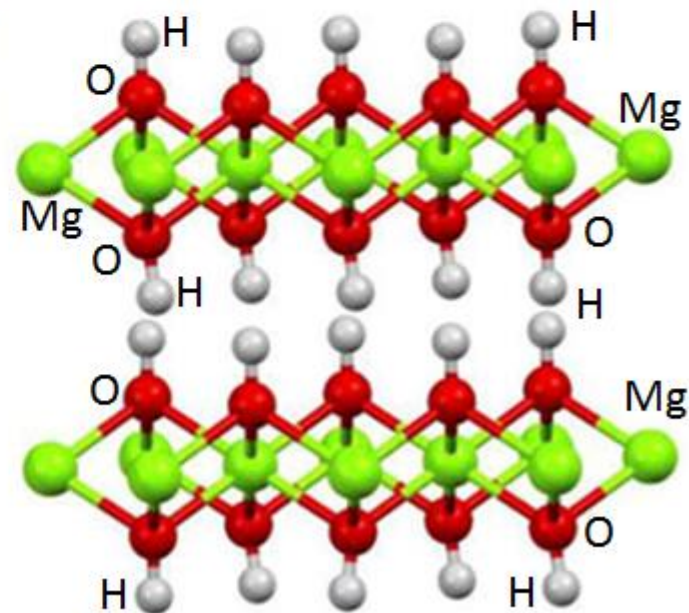
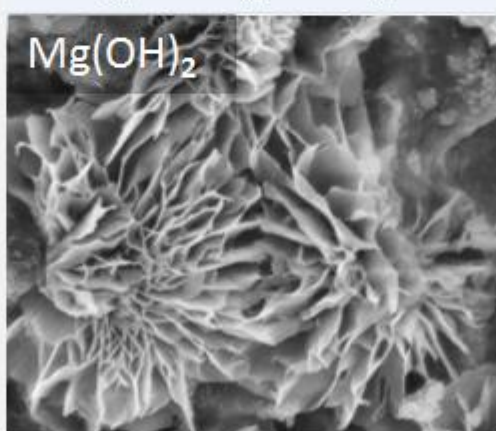
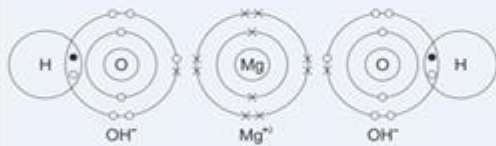
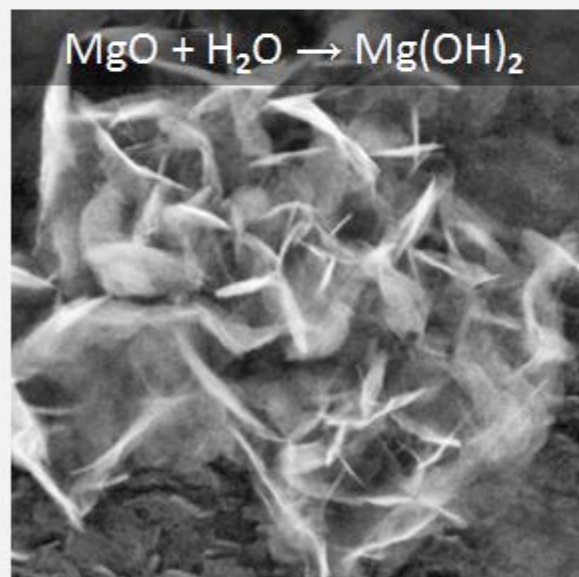
Martinsalak darabok a károsodott falszerkezetben



A martinsalak darabok a feltárt falszerkezet betonanyagában



MgO kubikus szerkezete és atomi felépítése



Mg(OH)₂ lemezes szerkezete és atomi felépítése

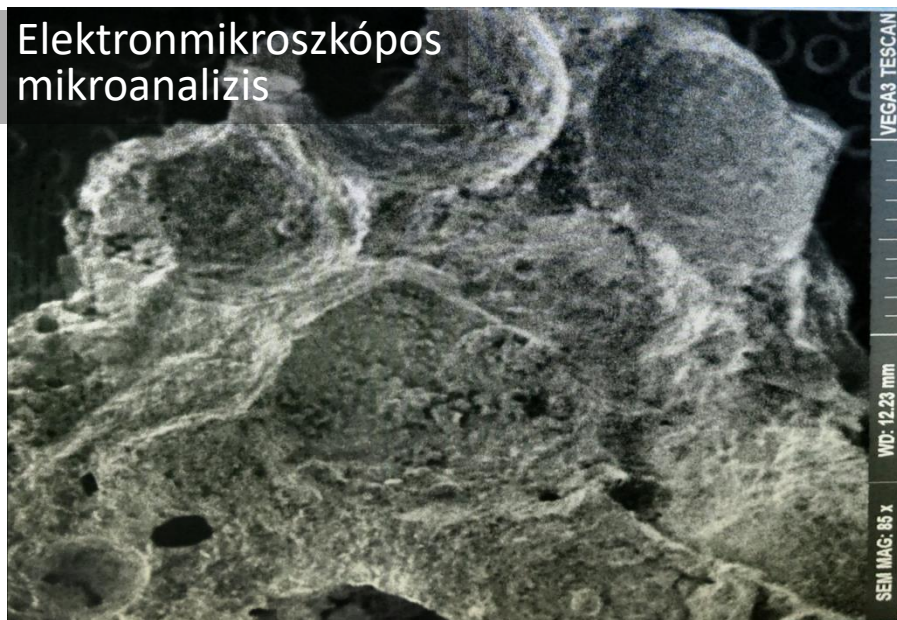


kohósalak



martinsalak

Elektronmikroszkópos
mikroanalízis



Kohászati salakok oxidos összetétele

Oxidok főelemek	Kohósalak %	Martinsalak %
SiO ₂	33,4	16,7
FeO	1,5	41,3
CaO	43,1	25,7
MgO	7,2	3,5
MnO	0,6	5,1
Al ₂ O ₃	11,9	6,3

Az ózdi kohó- és martinsalak vizsgálata (oxidos összetétel)

Bauxitbeton épületszerkezetek károsodása

Református Gimnázium épülete, Budapest (2018)



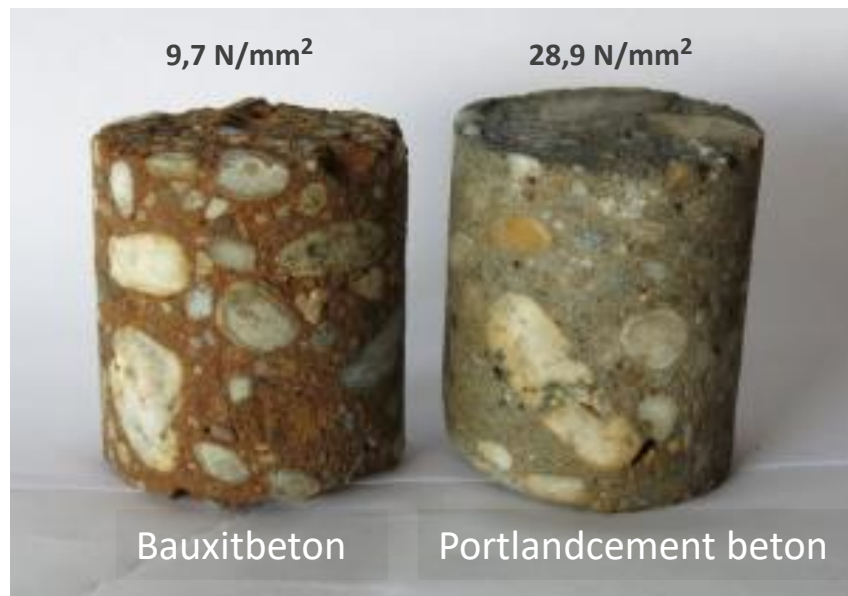
Az 1928. évben épült épület bauxitbeton erkélyszerkezetének korróziós károsodása



Az épület bauxitbeton terasz- és erkélyszerkezeteinek károsodása



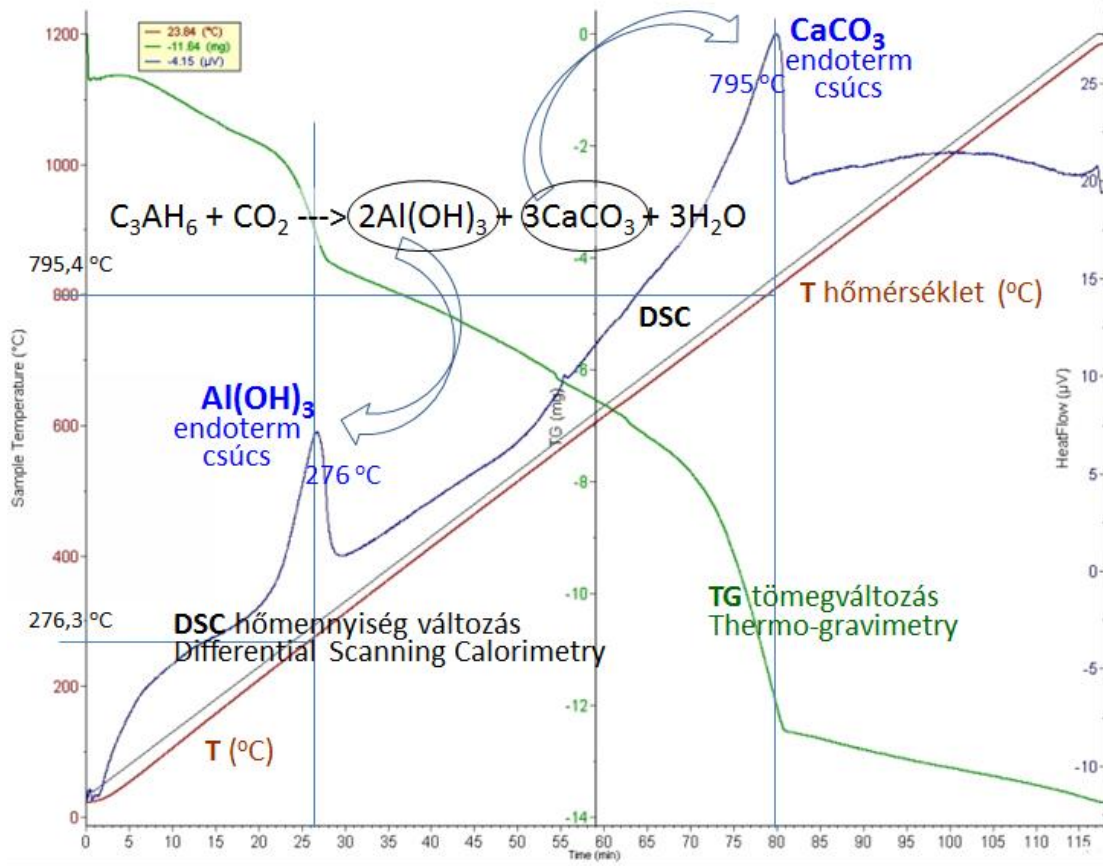
A bauxitbeton szerkezetek vizsgálata (mintavételezés és rétegrend)



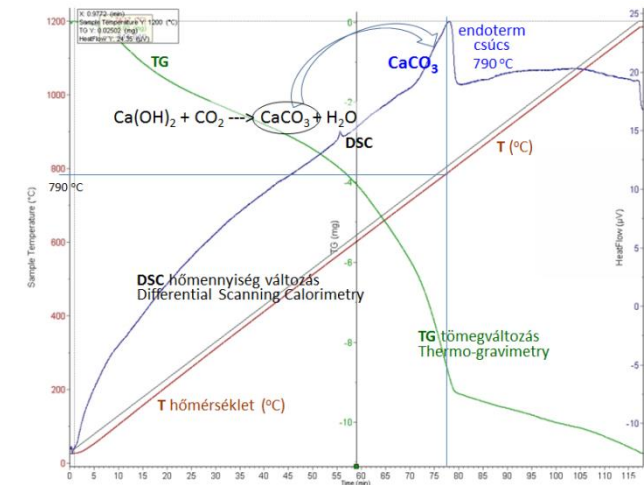
Megállapítások a bauxitbeton minták töretképeiből :

- A töretfelületen morzsalékos szemcsék láthatók.
- A cementkőnek már **nincs kristályos szerkezete**.
- A bauxitcement **nem rendelkezik** elegendő **kötőerővel**.
- A beton struktúrája **alacsony cementadagolásra** utal.
- A bauxitbeton az idők folyamán, **tömorségét elveszítve**, már nem tud megfelelő korrózióvédelmet biztosítani a szerkezetben lévő betonacélok számára.
- A beton pH értéke alacsony a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hiánya miatt.

A furatminták vizsgálata és a bauxitbeton struktúrája



A bauxitbeton termoanalitikai vizsgálatának grafikonja



Portlandcement beton grafikonja

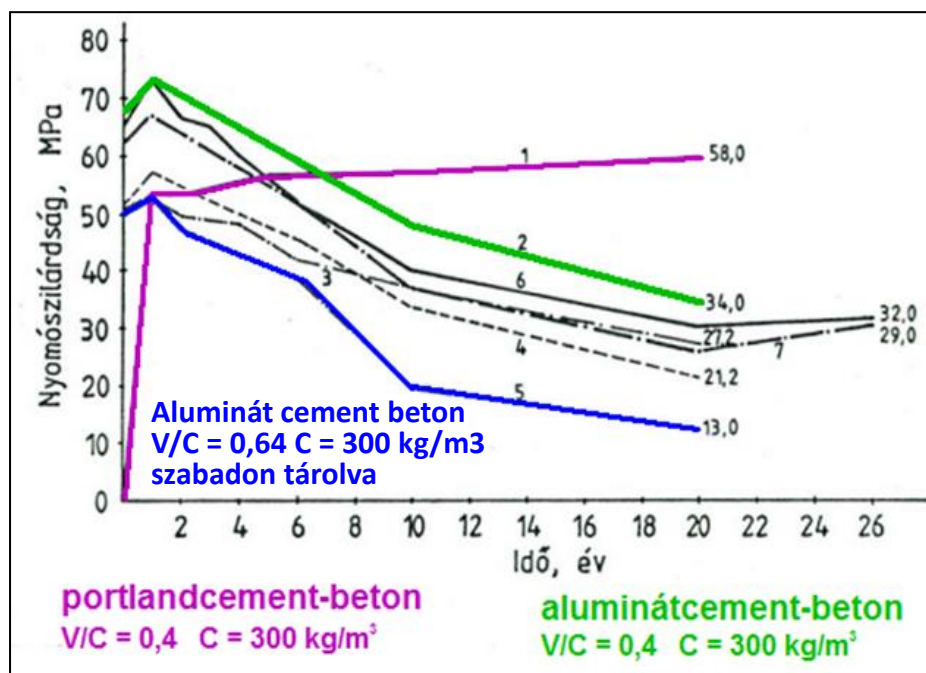
Megállapítások:

1. A már szétbomlott bauxitbetonra jellemző hő-effektusok mutatkoznak a 276°C-on, az Al(OH)_3 és a 795°C-on, a CaCO_3 helyén.
2. A C_3AH_6 kristályok már teljes leépülését jelzi, hogy hiányzik a hidrogránátra jellemző csúcs, az 540°C-on,
3. A bauxitcementek hidratációjakor nem keletkezik Ca(OH)_2

Anhidridet (CaSO_4) **adagolva**: időálló szulfo-aluminát (gipsz-bauxit) cement
 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + 3\text{CaSO}_4 + 25\text{H}_2\text{O} = 3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ (ettringit)

- csökken a kötэшő és a szilárdulás üteme, 60 °C-ig alkalmazható
- Leningrádban, az 1930-as években készült híd, még mindig üzemel

SZIKKTI (1960) Talabér József vizsgálatai szerint a bauxitbetonok szilárdságcsökkenése, idővel megáll. A gél állapotú $\text{Al}(\text{OH})_3$ átkristályosodik, és ez adja a **maradék szilárdságot**.



Az aluminátcement betonok szilárdsága az idő függvényében.

Tönkrement bauxitbeton szerkezetek

Citadur bauxitcement tulajdonságai:

1. Lassú kötés, de rendkívül **gyors szilárdulás**, kizsaluzás. (24 óra alatt 80%; 3 nap 100%).
2. Megkötés és szilárdulás **fagypont alatti** °C –on is.
3. A cement kötésekor **nem $\text{Ca}(\text{OH})_2$** , hanem $\text{Al}(\text{OH})_3$ gél válik ki, mely később átkristályosodik és megszilárdul.
4. Nagy tömörség és **vízzáróság**:
A keverési víz nagy részét **bekristályosítja** (pl. $10\text{H}_2\text{O}$)
Kevés víz párolog el, így **kicsi a porozitása**.
A keletkező gél állapotú $\text{Al}(\text{OH})_3$ fokozza a vízzáróságot.
5. **Ellenálló képesség** az agresszív anyagokkal szemben:
Nincs reakcióképes $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ami kioldható lenne.
Ellenáll szulfátoknak és kloridoknak, nincs karbonátosodás
A **betonacél korrózióvédelmét** nem a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ és a magas pH érték biztosítja, hanem a beton **tömörsége**.
6. **Víz alatti** betonozásra is alkalmas, hideg tengervízben is.
7. Jó a **hő- és tűzállósága**, mivel nem keletkezik $\text{Ca}(\text{OH})_2$

A bauxitbetonok alkalmazásának hiányosságai:

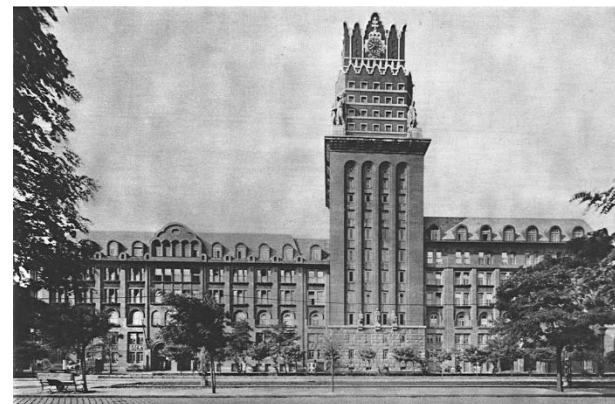
1. Drága volt, spóroltak vele, telítetlen betont készítettek.
2. Szilárdságát és időállóságát befolyásoló tényezők:
 - szilárdulás közbeni hőmérséklet, **30 °C fölött károsodott**
 - a környezet nedvesség- és **CO_2 tartalma**
 - a környezet pH értéke, **lúgos közegben** nem alkalmazták.



Vigadó tér 3. (Budapest).



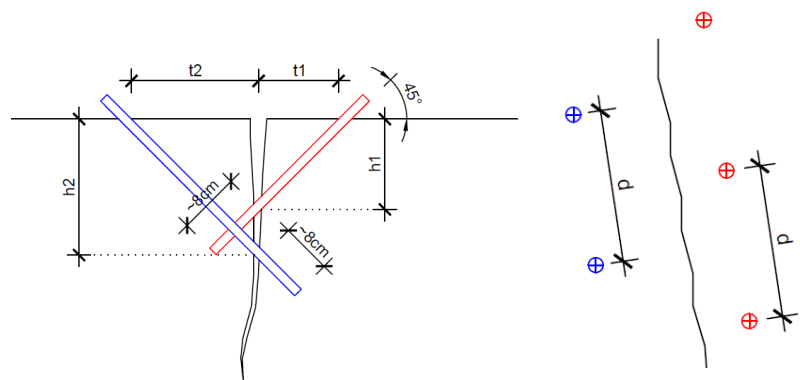
Református Gimnázium (Budapest)



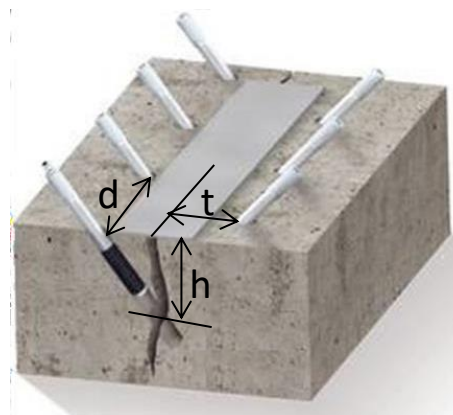
OTI székház 1933-ban (Budapest)

A repedések tömítése (vízzárása) injektálással

A vízhez hasonló viszkozitású **Penetron Inject** injektáló anyag **aktív összetevői reakcióba lépnek** a cementkő kioldható kalciumhidrátjával és az alumínát tartalmú klinkerásványaival. Végtermékként **tűkristályok keletkeznek**, melyek kitöltik a beton repedéseit és a környező pórusokat.



Pakkerek elhelyezése a repedés vonalában



Keletkezett kristályok

Öngyógyuló mechanizmus

Nedvesség hiányában a **Penetron Inject** aktív összetevői rejtve maradnak, de nedvesség megjelenésekor a repedéskitöltés újra indul. A víz szilárdanyagként épül be a kristályszerkezetbe.

A felület utókezelése

A kiinjektált repedések felületét legalább 2 héten keresztül folyamatosan nedvesen kell tartani, pl. nedves TERFIL takarással.



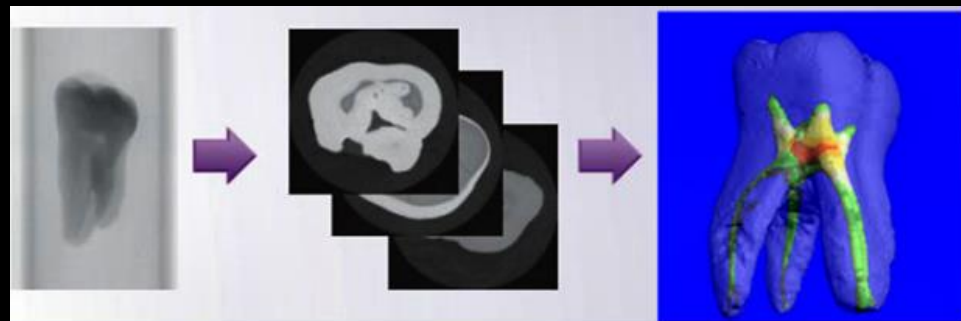
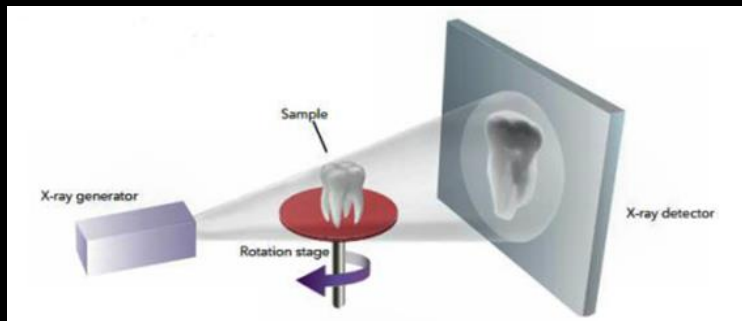
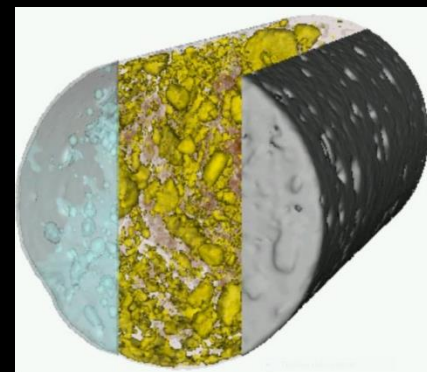
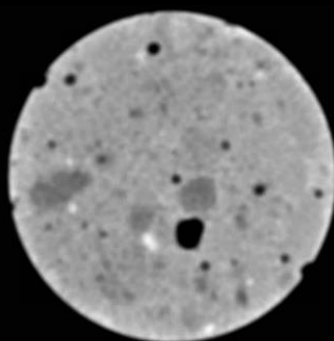
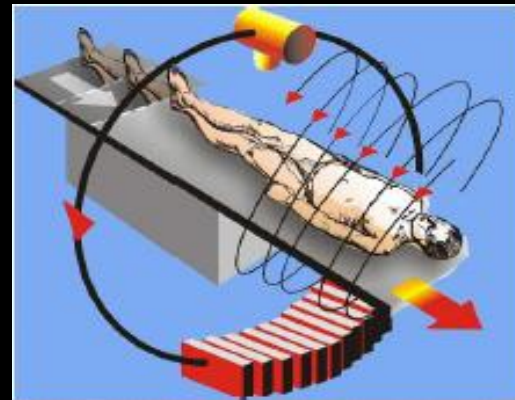
Injektáló berendezés

A repedezett fenéklemez vízzáróvá tétele injektálással

Betonszerkezetek struktúrájának meghatározása komputer-tomográfiás (CT) vizsgálattal

Az építőanyagok és betonszerkezetek vizsgálata során az anyagok belső felépítéséről (pl. betonstruktúrájáról) a roncsolás-mentes diagnosztikai vizsgálatokkal, igen nehéz térbeli- és egyidejű képet alkotni.

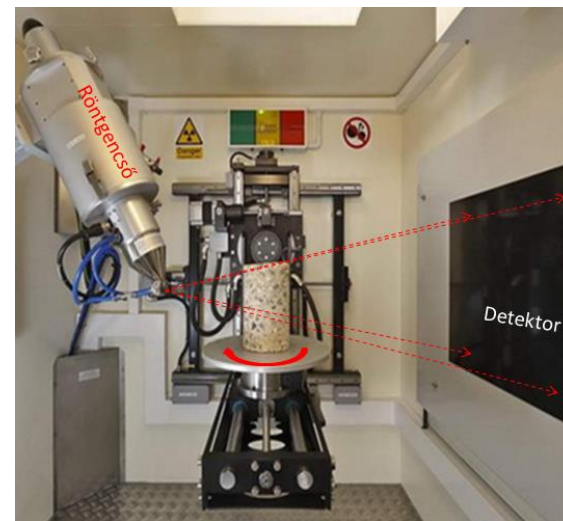
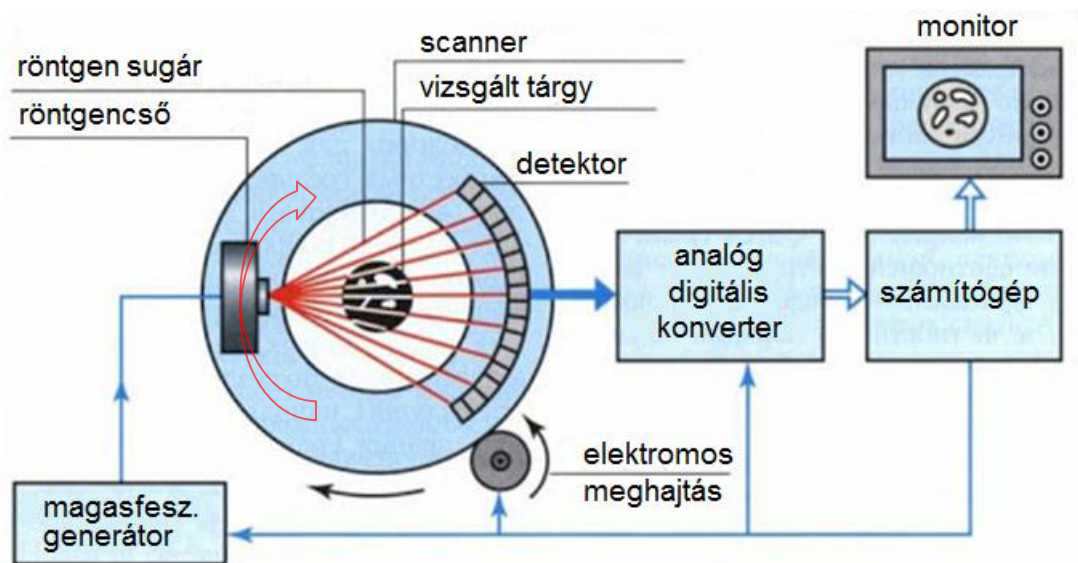
Igény, hogy a szerkezeti anyagok tulajdonságai (pl. porozitás, betonstruktúra, korróziós elváltozások) a szerkezet teljes keresztmetszetében mérhetőek legyenek.



Betonstruktúra komputertomográfiás (CT) vizsgálata

CT alkalmazása betonszerkezetek vizsgálatához:

- Betonszerkezetek **három dimenziós** állapot- és belső szerkezetvizsgálata.
- Szilárdságot befolyásoló anyagszerkezeti **átalakulások** nyomon követése.
- Betonszerkezet belső sűrűség eloszlásának és a **pórusrendszerének** vizsgálata.
- A betonstruktúra **változásának követése** a tönkremeneteli folyamatokban.
- Betonok porozitás **változásának** megállapítása pl. hő (tűz) terhelt betonok esetén.
- Acélbetétek **korróziós** állapotának megítélése, a betonfedés eltávolítása nélkül.



Komputertomográf (CT) működése

A beton póru szerkezetének elemzése CT-vel

