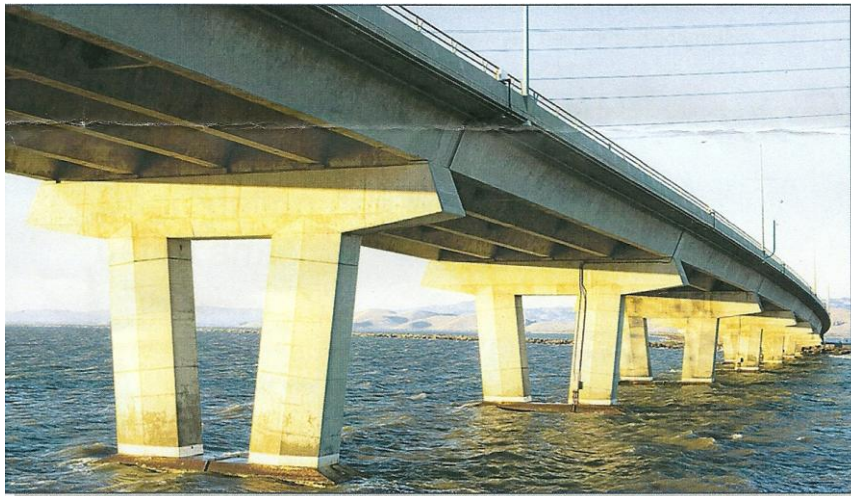


KORODAJ PROBLEMOJ ĈE BETONO SUR MARO.

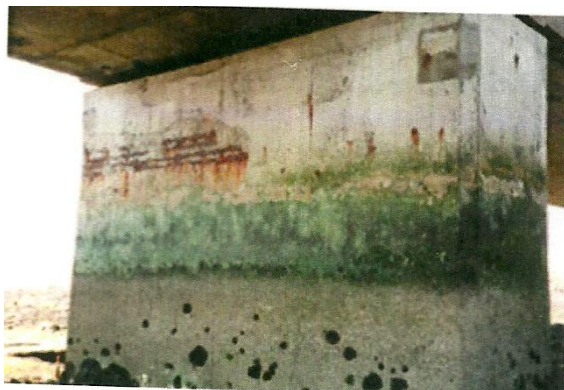
La klimat-sanĝiĝoj kaj ties konsekvencoj al la enmaraj konstruaĵoj.

Fonto: Notoj el prelego.



Bildo 1 Ponto super la maro
kun betonaj pilieroj

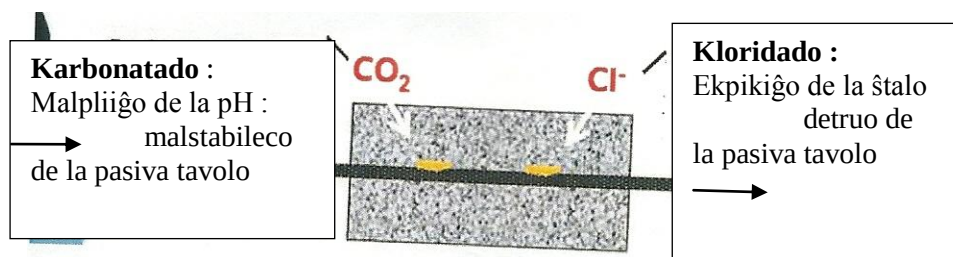
De 2009 estas pli kaj pli grave konsideri la konsekvencojn de la klimat-sanĝiĝoj sur la konstruaĵoj el armita betono en maro.



Bildo 2 Ponto-
piliero ĉe tajdo-zono

La gravajn difektojn kaŭzas la **kloridaj jonoj**, kio estigas malpligrandiĝon de la rezist-kapablo de tiu materialo.

Bildo 3 : Difektiĝado de la ŝtaloj en armita betono



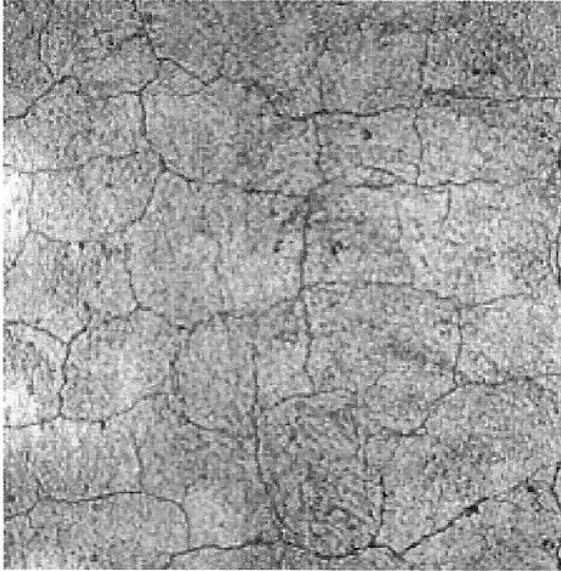
La penetrado de la kloridaj jonoj estas pli granda ĉe plialtiĝo de la temperaturo kaj humido. Tial necesas realigi modeligadon de la difektiĝoj, strategion pri riparado kaj analizon de la adapto-kostoj.

La penetro de la kloridaj jonoj estas helpata de la *poreco* de betono.

Tiel, la korodado de la ŝtalaj armaturoj estigas sekco-perdon kaj naskas korodo-produktojn, kiuj plidikiĝas kaj tio kaŭzas, ke aperas fendetoj kaj elrompiĝo de la betono (kreviĝo)

Tiu difektiĝo de la betono kaj de la ŝtaloj estas prikonsiderata en la strukturo-dimensiigo, efektivigante kalkul-modelon de la finaj elementoj. Tiu kalkulmodelo prikonsideras la enpenetrecon de la kloridaj jonoj, la ŝanĝiĝojn de la temperaturoj, la humidecon kaj la fendetiĝadon.

La fendetiĝo konsistas el du tipoj: dekomenca fendetiĝado (pro kuntiriĝo) kaj la fendetiĝado pro disvastiĝo. Ĝia apero dependas de la korodo-kvanto kaj de la mekanika rezistemeco de la betono. Tiel eblas determini la periodon de la ekfendetiĝo.



Bildo 4 : Fendetiĝo pro kuntiriĝo ĉe la beton-surfaco

Krome, por realigi kalkulojn pri la fendetiĝo-probleco, necesas prikonsideri la malcertaĵojn ligitajn al la materialoj, al la kalkul-modelo kaj al la ĉirkaŭaĵo (temperaturoj, humideco, kloridaj jonoj)

Sekve al la gravaj difektoj kaŭzitaj de la

kloridaj jonoj sur la betonaj strukturoj, post 20 ĝis 30 jaroj, la jenaj antaŭrimedoj estas necesaj:

- regula inspektado de la vorkoj
- tuja riparado de la gravaj observitaj fendetoj
- riparado de la fendetoj laŭ la nunaj normoj

La ***kovra tavolo de armaturo*** * estas unu el la ĉefaj karakterizaĵoj [1] de la armaturo ĉe la armitaj beton-elementoj, grava por ŝirmi la ŝtalojn kontraŭ korodo kaj do [2] de la mekanika rezistemeco de la elemento. Estas adaptita la *kovra tavolo de armaturo* laŭ la jaroj kaj la klimat-ŝanĝoj.

La unua normo “Circular” [Sirkular] igis varii la kovran tavolon de armaturo de la enmaraj betonaĵoj de 2cm ĝis 4cm; la normo “Bael” pligrandigis ĝin al 5cm; kaj fine la *Eŭrokodo* al 5,5 cm!

La riparado de la difektitaj beton-elementoj povas prezenti altan koston Tiel eblas determini la kosto-efikecon de tiu investaĵo per la rilato inter profito kaj kosto. La simulado, tiel nomata de “Monte Carlo” [Monte Karlo] montras averaĝon pri profit-mezuro kaj donas la probablecon ekhavi **pozitivan** (1) la raporton profito/kosto.

Oni kondukis komparadon inter 2 beton-strukturoj (konceptitaj por 100 jaroj) en tajdo-zono, en Saint-Nazaire [Sennazer] kaj en Marseille [Marsejlo]- Francio. Tiu studo montras, ke en Saint-Nazaire [okcidento de Francio] la malvarma kaj humida klimato estas submetita al granda influo de la kloridaj jonoj, kio estigas fortan probablecon pri fendetiĝado. La relativa humideco pligrandigas la enŝoviĝon de la kloridaj jonoj kun apero de korodo.

La studoj pri ambaŭ tiuj ejoj estis faritaj pri malsamaj konstru-jaroj. El tiu komparado oni konkludas ke estas pli koste realigi la restaŭradon de la malnovaj vorkoj laŭ la nunaj normoj. Ĉar, ju pli malproksima estos la konstrudato de la efektivigo de la normoj, despli koste estos realigi la restaŭradon de la vorko.

Konkludo: Ĉiu urbo devas havi malsaman adapto-metodon pri la difektitaj strukturoj laŭ la kondiĉoj de ekspono al la kloridaj jonoj. La raporto profito/kosto de la riparadoj estas pli alta ĉe novaj konstruaĵoj. La nunaj normoj plilongigas la vivdaŭron de strukturoj, eksponitaj al novaj medio-kondiĉoj, kaŭzitaj de la klimat-ŝanĝo. La raporto profito/kosto de la riparadoj dependas de la konstru-jaro kaj oni povus plibonigi ĝin.

Noto* La francan vorton “*enrobage*” de la aŭtorino S-ino Kiry, ni tradukas per “Kovra tavolo de armaturo”, termino N° 194 aperinta en **Terminaro de betono kaj de betonistaj laboroj** de Jan Werner.

Verkis: Sinjorino Eva KIRY Tradukis: Pierre Grollemund

Kelkaj komentoj de la redaktoro: Ricevinte la ĉi-supran artikolon, ni sentis bezonon pri precizigoj kaj ni sendis al Eva Kiry demandojn. Ŝi aŭfable respondis:

- 1 Klimat-ŝanĝiĝoj:** Pro kiuj ŝanĝiĝoj estas minacata mar-betono?

Respondo: Estas malfacile atribui malsanojn de la betono al precizaj kaŭzoj, ĉar

- 1) mankas longdaŭraj observadoj kaj statistikoj;
- 2) la klimat-ŝanĝo estas plu diskutata temo. La scienco pri klimato apogas sin sur long-daŭraj observadoj – kio mankas al la beton-industrio. Ni do povas aserti nenion pri temperaturoj, mar-nivela plialtiĝo, ktp.

Tamen, ni povas konstati la nunajn difektiĝojn, analizi iliajn kaŭzojn kaj serĉi ĉu ili rilatas al klimataj kondiĉoj.

2 Beton-korodo: Kiuj faktoroj faciligis ĝin?

Respondo: La ĉefaj faktoroj de beton-malsanoj fontas el du kaŭzoj:

- 1) Karbonat (iĝ) ado de la betono, pro la ĉeesto de CO₂ (karbon-dioksido) ligata al humideco.
- 2) Korodado de la betonaj armaturoj, pro la ago de kloridaj jonoj.

3 Karbonatado de la betono: Kiel?

- L'oceano absorbas ĉirkaŭ 1 trionon de la gaso karbon-dioksido (CO₂) elmetita en la atmosferon de la homa aktiveco. Ĝi kombiniĝas kun la akvo laŭ pluraj kemiaj formoj. La tiel formitaj karbonatoj agas kiel acidoj. Laŭ iuj esploroj, oni evaluas la malpliigon de la mar-akva pH je 0,1 unuo laŭlonge de du jarcentoj.
- Betono enhavas pH-on da 13, kio estas baza valoro. *. Tiu valoro ŝirmas la ŝtalon de la armaturoj: la supra tavolo da betono efikas kiel protektilo.
- Krome, betono estas pora. Tio faciligas la eniron de CO₂ kaj humideco. Ju pli rezista estas betono, des malpli pora.
- Kiam CO₂ enŝoviĝas en la betonon, pro la ĉesto de humideco, la PH-indico malpliigis kaj ekde la valoro de pH9 karbonata akvo fariĝas agresiva. (vidu en **Terminaro de betono kaj betonistaj laboroj** Termino N°38. 3)

*** Noto:** ni memoru, ke la pH-indico korespondas al mezuro de l'acideco / malacideco de akvo aŭ likvo, laŭ la jena skalo: de l'indico 0 (ege acida) ĝis l'indico 14 (ege baza). Neŭtra je 7.

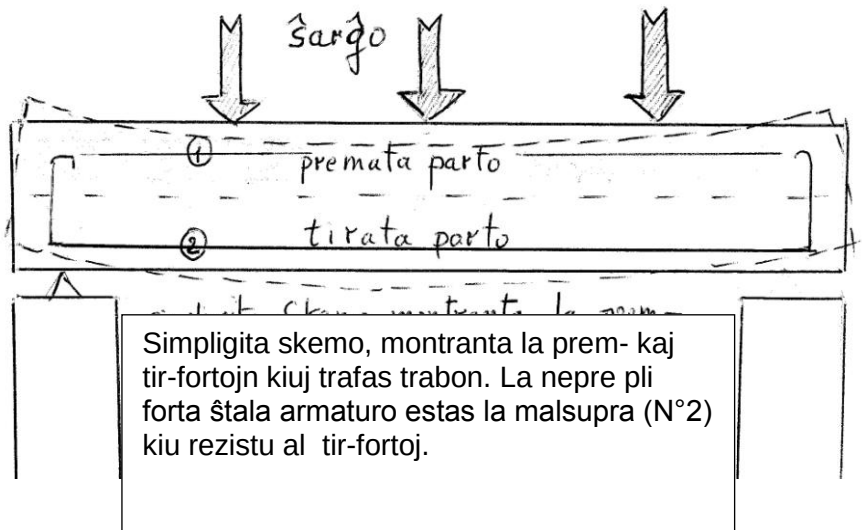
- Eva Kiry aldonas, ke l'humideco en betono povas fonto el restanta akvo, kiu reagas kemie kun la beton-komponaĵo. Tiu fenomeno estas pli grava, se betono mergiĝas en akvo, kies pH fariĝas malpli granda ol tiu de la marakvo (average 8).
- Konklude: Ju pli da CO₂ en la ĉirkaŭa medio, des pli rapida estas la karbonatado, kiu efikos sur longdaŭra periodo.

4 Korodado de la betonaj armaturoj: kiel? Ĉu l'acideco de l'uzita akvo dum la konstruado gravas?

- La kloridaj jonoj povas deveni de la akvo uzita por prilabori la betonon aŭ de la ĉirkaŭanta medio. Tiuj kloridaj jonoj rekte atakas la ŝtalajn armaturojn.
- Pro la korodaj atakoj, formiĝas rusto, kiu ŝveligas la armaturojn. Konsekvence despli facile rompiĝos la betono, ke la kovra tavolo estas maldika.
- Povas aperi ankaŭ atakoj pro sulfatado, kiujn kaŭzas kemiaj reagoj kun komponentoj de betono (ligentoj kaj volumenaĵoj)

5 Kie situas la observitaj difektoj? Respondo:

- Ĝenerale la korodado komenciĝas sur malprofundaj tavoloj, tio estas surface. Sed, la difektoj estos pli aŭ malpli gravaj, depende de la funkcio de la beton-tavolo, ĉu prema, ĉu tira.
- Ni vidu ke en beton-strukturo, estas kombinitaj du elementoj, kies funkcioj estas malaj: betono bone rezistas al premo-fortoj, dum ŝtalo rezistas al tir-fortoj. En beton-trabo, la supra tavolo povas funkcii kiel premforta rezisto-parto kaj la malsupra kiel tirforta rezisto-parto. Kiam betono estas difektita en premata parto, la konsekvencoj estas pli gravaj.



Kiujn riparojn eblas fari? Respondo:

Malfacila tasko! Necesas unue forigi la rompiĝantajn tavolojn de betono (se ili ne jam falis!) Anstataŭigi –se eblas!– la koroditajn armaturojn. Restaŭri la betonan tavolon kaj ŝirmi ĝin per speciala puco aŭ farbaĵo. Kiel mi skribis, estas necese antaŭe evalui la ripar-koston kaj ĝian teknikan fareblecon;

Eva KIRY kun Pierre GROLLEMUND