

# Vaativasti rasitettujen rakenteiden kuntotutkimukset

14.11.2023 VTT – beyond the obvious

# Sisältö:

- Vaativat rasitukset
- Tutkimusten suunnittelussa huomioitavia asioita
- Tutkimusten toteutuksessa huomioitavia asioita
- Laboratoriotutkimuksissa huomioitavia asioita
- Vaativien rasituskombinaatioiden yhteisvaikutusten arviointi
- Hyvä raportointi



# Yleisimpiä rasitusyhdistelmiä

- XC, XF: Tyypillisesti julkisivu- ja parvekerakenteet
- XC, **XM**: Tyypillisesti liike- ja varastotilojen lattiarakenteet sisätiloissa (abraasio eli kulumisrasitus)
- XC, XF, suolatuilla teillä tai merivedessä XD/XS, (XM):
  - Esim. siltarakenteet, meriveden kanssa kosketuksissa olevat rakenteet, useat vesirakenteet
    - XA- eli sulfaattirasitukset merivedessä
- XC, ulkorakenteissa XF, usein XD/XS, XM, **XB**, XA: Esim. jätevesirakenteet tai monien teollisuuslaitosten hyvin erityyppiset rakenteet
  - Samanaikaisesti voi esiintyä jopa useita eri tyyppisiä kemiallisia ja/tai biologisia rasituksia
- Usein edelliseen lisättynä myös tavanomaista korkeampi lämpötila ja/tai suuri kosteus

Mikä XM?  
=> DIN-standardeissa  
"Mechanical eXposures"

Mikä XB?  
=>  
"Biological eXposures"

# Vaativat rasitukset

- XS/XD eli kloridirasitukset
    - XS kloridit merivedestä
    - XD kloridit jäänsulatussuoloista tai esim. [teollisista prosesseista](#)
  - XB eli biologiset rasitukset:
    - Yhdyskuntajätteet ja -jätevedet eri muodoissaan, (meri)veden kasvustot ja eliöstöt, teolliset prosessivedet, teollisten prosessien jätevedet, bakteerit em. vesissä (HUOM. myös lietekerrostumissa!), bakteerit esim. kalliopohjavesissä
    - Hapettomissa olosuhteissa bakteerien aineenvaihduntatuotteet usein happoja
  - XM eli mekaaniset rasitukset
    - Abraasio, eroosio ja kavitaatio, joihin yhdistyy puhdas- tai jätevesi, merivesi tai teollisuuden prosessivesiä
  - XA eli kemiallinen rasitus:
    - Sulfaatit tai muut vahvat suolat, kaikki hapot, vahvat emäkset
    - Joko suoraan prosessista (vuotoina) tai prosessivesiin tai -jätevesiin liuenneina tai tuotantolaitoksen onnettomuustilanteissa
    - Kemikaalien kontaktaika betoniin voi vaihdella ja niiden pitoisuus vaikuttaa merkittävästi rasituskestävyyteen
  - (Radioaktiivinen säteily)
- ⇒ Em. rasitusten yhteisvaikutukset rakenteissa?
- ⇒ **Tunnista ja tunnusta myös omat rajat ja osaamistaso!**

# Tutkimusten suunnittelussa huomioitavia asioita

- Lähtötiedot tilaajalta:
  - Rakenne- ja betonitiedot
  - Mahdollinen korjaus- ja muutostyöhistoria
  - **Rakenteen tarkat rasitusolosuhtetiedot**
  - Vesien tai muiden rasittavien aineiden **kemialliset koostumustiedot (= aineen nimi, pitoisuudet) ja betonin altistusaika**
- AINA käynti kohteessa etukäteen
- Luvitukset:
  - Työturvallisuuskortti on itsestäänselvyys, muttei riittävä
  - Laitosten omat turvallisuuskoulutukset, 1 h – 3 pv ja usein suoritettava myös tentti
  - Joskus esim. sähkökäyttöisten laitteiden erillistarkastukset – **tai rokotusvaatimuksia**



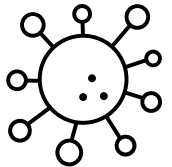
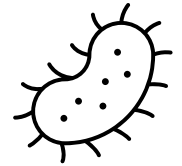
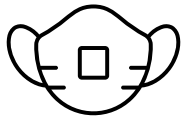
# Tutkimusten suunnittelussa huomioitavia asioita

## ■ Mitä tutkitaan?

- Rakenteen kantavuus, muodonmuutokset ja rakenteiden turvallisuus
- Betonissa mahdollisesti esiintyvät tai *poissuljettavat* vauriomekanismit => mitä halutaan saada selville?
- Mitä laboratoriotestejä tarvitaan ja kuinka paljon?

## ■ Miten tutkitaan?

- **Työ- ja terveysturvallisuuden riskianalyysi!**
- Rakenteiden luoksepäästävyys: Kohteen työkorkeus, yleinen tilanahtaus, vuotoriskit, räjähdysriskit, tulipaloriskit, **tautiriskit**, muut riskit...
- Näytteiden irrotus ja kuljetus



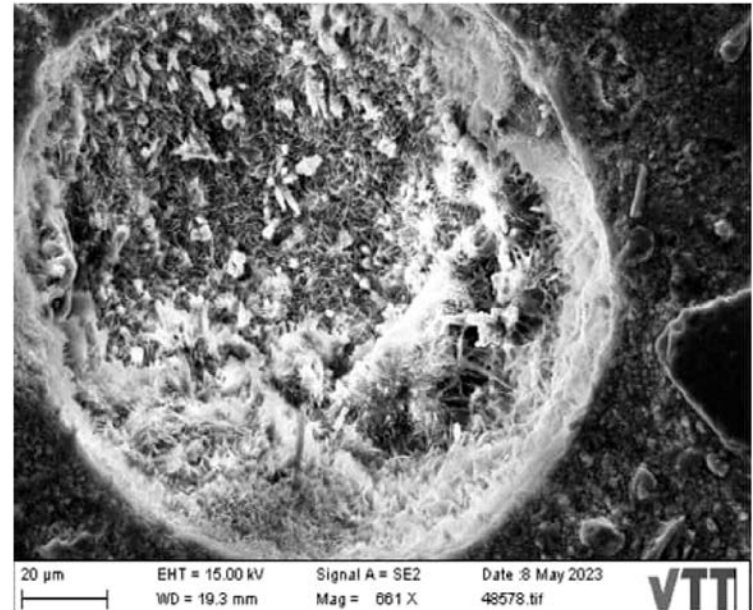
# Tutkimusten toteutuksessa huomioitavia asioita

- Ihmisiin kohdistuvat ”rasitukset” tutkimuksen tekemisen aikana:
  - Lämpötila, kosteus, höyry”suihkut”, putoamisriskit, ahtaat tai suljetut paikat, kantaminen ja kiipeily, aineiden vuodot, vaarallisten aineiden höyrystyminen hengitysilmään tai niiden ihokontakti...
    - => **oikeat ja riittävät suojavaarusteet ja työvälineet!**
  - Riittävästi myös taukoja tutkimustilanteessa (ja muistetaan esim. riittävän nesteytyksen tärkeys!)
- Tutkimushavaintojen merkityksen tärkeys, kun vaativia rasituksia



# Laboratoriotutkimusten tilauksessa huomioitavia asioita (työn suunnitteluvaiheessa)

- Tieto näytteiden mahdollisesti sisältämistä riskitekijöistä (esim. bakteerit) => vaikutus esim. laboratoriotutkimusten hintaan
- Erikoistutkimusten tarve ja toteutusmahdollisuudet
  - SEM, EDS, XRD, XRF, TGA, migraatiotestit, muodonmuutosominaisuuksia määrittävät testit, AKR-kestävyys...
  - Testausaika voi testistä riippuen vaihdella **1 pv...useita kuukausia**



© VTT / P.Kekäläinen



# Erikoistutkimukset

## ■ Muodonmuutos- ominaisuudet

- kimmomoduuli
- jännitys-venymä, viruma – relaksaatio
- painumat
- muodonmuutosmittaukset tai kuvantamiset kohteessa?

## ■ XRD, XRF

- mm. sementin tutkimus, faasien tunnistus, lämpö- ja kemiallisen rasituksen tutkimus, sideaineen koostumuksen määrittäminen

## ■ SEM + EDS

- mm. kemialliset muutokset, kemiallinen rasitus, DEF-riski

## ■ TGA

- seosaineiden reaktiivisuus, sideaineen ja lisäaineiden vuorovaikutus, faasit, lämmönkehitys

## ■ Migraatiotestit

- esim. kloridien tunkeutumisen ja kulkeutumisen mallintaminen

## ■ Läpäisevyyttä tai huokosrakennetta yleisesti selvittävät testit

- betonin kapillaarinen huokosrakenne, paineellinen vedentunkeuma, kaasutiiveys

## ■ AKR-kestävyys

- RILEM/AAR-testit

## ■ NDT-/NDE-menetelmät

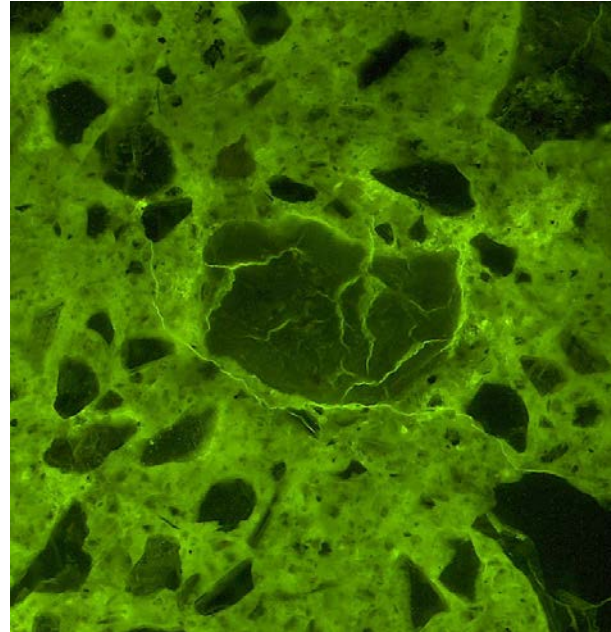
- tutkimuskohteessa paikan päällä tehtäviä ainetta rikkomattomia testejä
- mm. halkeamat, tyhjätilat rakenteessa
- tulosten analysointi ja tulkinta?

## ■ Muut

- esim. betonin sulfaatin-kestävyys

# Laboratoriotutkimuksissa huomioitavia asioita (työn toteutusvaiheessa)

- Laboratorion työturvallisuus => oikeat käsittelyohjeet näytteiden valmistukseen ja koestukseen
- Ohuthienäytteiden ja betonille tehtävien muiden erikoistutkimusten tilaukseen ehdottomasti tieto siitä, minkälaisesta rasitusympäristöstä näytteet irrotettu
  - Myös poikkeukselliset visuaaliset havainnot kohteesta kannattaa ilmoittaa esim. ohuthienien tai erikoistutkimusten analyysoijalle



© VTT / P.Kekäläinen

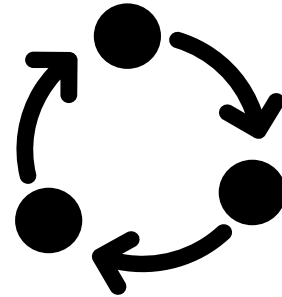
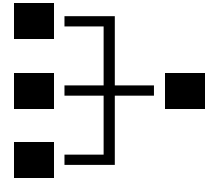
# Vaativien rasituskombinaatioiden yhteisvaikutusten arviointi

## ■ Rasitusyhdistelmien vaikutukset:

- XA, XB vs. korkea kosteus tai korkea lämpötila?
- XA vs. karbbis?
- karbbis vs. XM?
- XM vs. XF?
- XM vs. XA?
- kloridit vs. XA? Miten happo- tai suolarasitukset eroavat vaikutuksiltaan toisistaan kloridien läsnäollessa? Tai karbbiksen?
- kloridit vs. karbbis?
- kloridit vs. XF?
- edellä mainittujen yhdistelmät vs. korkea kosteus tai korkea lämpötila?

=> **Vauriomekanismien syvälinen ymmärrys on välttämätöntä**

- em. vaikutukset rakenteiden / rakenneosien käyttöikään, korjattavuuteen ja korjaustavan valintaan? => Perustelu asiakkaalle!



# Hyvä raportointi

- Selkeys, hyvä havainnollisuus ja riittävästi selitteitä asioille
  - Valokuvat, piirroksot, kaaviot, kuvaajat...
- Ei kirjoiteta itselle, vaan asiakkaalle, jolle asioiden syy-seuraus –suhteet eivät välttämättä ole yhtä kirkkaita kuin itselle
  - ~~Copy-paste –tekniikka?~~    <= UNOHDA TÄMÄ!
  - Kirjoitetaan, ajatellaan ja analysoidaan itse
    - ⇒ Mitä kentällä tehdyt havainnot ja laboratoriotutkimusten tulokset yhdistettyinä tarkoittavat?
    - ⇒ Mikä on niiden *merkitys*?
- Muista myös 'juridinen' vastuu
  - On voitava seistä omien sanojensa takana kaikissa tilanteissa

SILLANTARKASTUSKÄSIKIRJA  
Suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus



# bey<sup>0</sup>nd

## the obvious

Elina Paukku  
Senior Scientist / Structural Materials  
Puh. +358 50 328 6929  
Käyntios. Kemistintie 3, 02150 Espoo

[elina.paukku@vtt.fi](mailto:elina.paukku@vtt.fi)

[www.vtt.fi](http://www.vtt.fi)