

Betonin säilyvyys, koekenttätutkimukset

Ville Sjöblom / VTT
Tutkija

11/02/2026 VTT – beyond the obvious

Sisältö

- Tausta
- Koekentät
- Tuloksia
 - Karbonatisoituminen
 - Kloridit
- Impregnointiaineet ja muottikankaat tutkimus
- Yhteenveto



Tausta

- Todellisia ilmasto/ympäristö rasitusolosuhteita on hankala arvioida laboratoritutkimuksilla, missä yleensä testataan yhtä rasitustekijää kerrallaan.
 - Koekenttätutkimuksilla saadaan tietoa betoneiden säilyvyyskäyttäytymisestä todellisissa käyttöolosuhteissa.
- Kosteus
 - Lämpötila
 - Auringon UV-säteily
 - Sulatussuolat
 - Hiilidioksidi
 - Betonin ikääntyminen



Tausta (vanhat säilyvyystutkimukset)

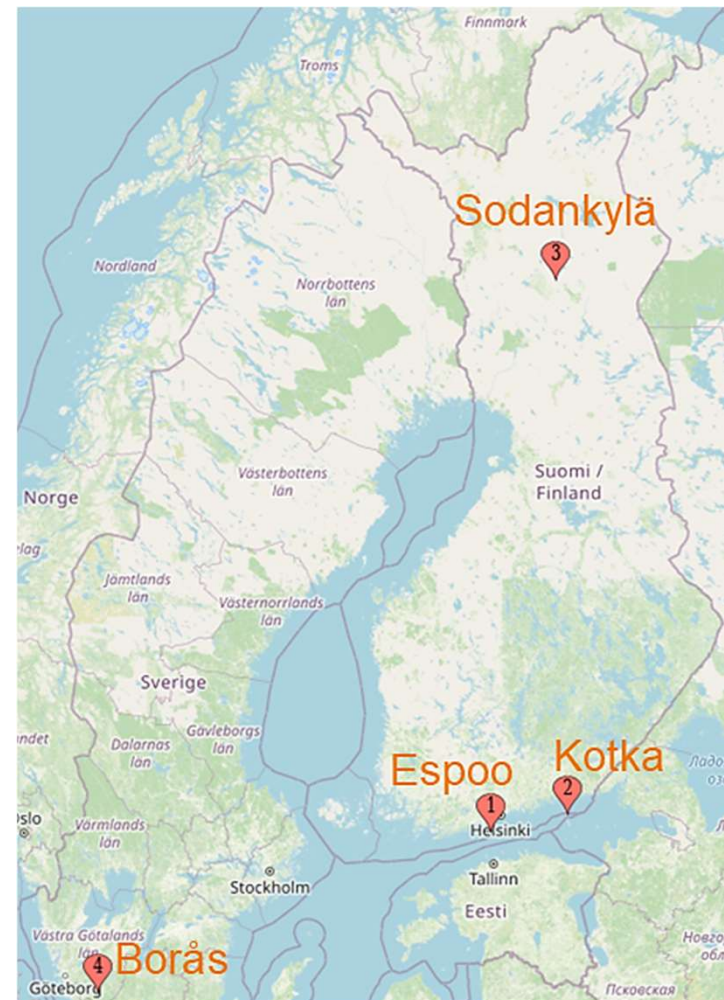
- 1998-2001 Nordic BTB (Durability of de-iced bridge concrete)
- 2001-2004 EU CONLIFE (High-performance concrete)
- 2001-2004 EU LIFECON (Life Cycle Management & Sustainability)
- 2002-2004 Finnish YMP (Environmentally-friendly and Durable concretes)
- 2007-2008 Finnish DURAFIELD (Concrete durability field testing)
- 2008-2011 DURAINIT (Effect of interacted deterioration parameters on service life of concrete structures in cold environments)
- 2012-2015 CSLA (Chloride freeze-thaw interaction)
- 2018-2022 EXACT (Effect of excess air entrainment on behaviour of reinforced concrete structure)
- 2007-2025 BTT (Demanding concrete structures research)



Koekentät

- Näytteitä 4 eri koekentällä
- Kentät perustettu tutkimusprojekteissa
- Kentät perustettu vuodesta 2001 alkaen

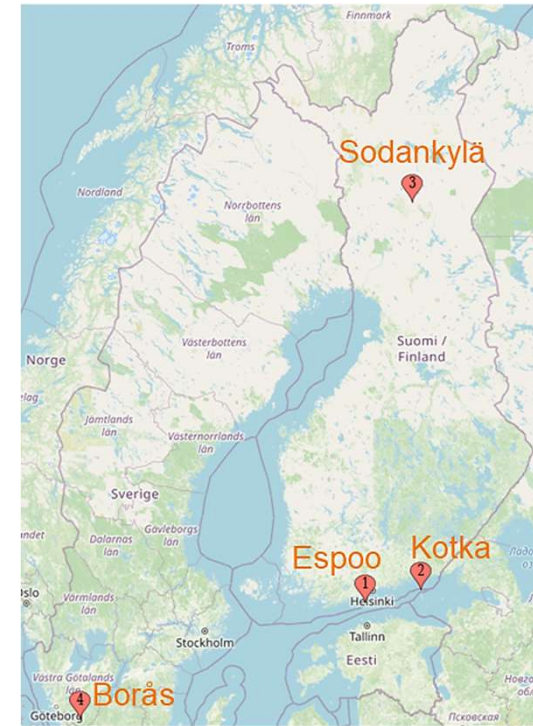
Koekenttätestien aloitusvuodet				
Koekenttä	Kloridiprofiilit	Pakkas-suola	Pakkanen	Karbonatisoituminen
Espoo			2007	2003
Kotka	2007	2007		
Sodankylä			2001	2003
Borås	2009			



<https://www.mapcustomizer.com/>

Espoo

- Perustettu 2002
- Jäädytys sulatusrasitus
 - XF3 (suuri vedellä kyllästymisen ilman jäänsulatusaineita)
- Karbonatisoituminen
 - XC3 (kohtalaisen kostea)
 - XC4 (jaksollinen kastuminen ja kuivuminen)
- Betonit joita mm. koekentällä
 - YMPYST, K35, K45, lentotuhka ja kuona (eri seossuhteita)
 - Durarint-koesarja, (w/c=0.36-0.6)



<https://www.mapcustomizer.com/>

Kotka

- Perustettu 2008
- Jäädytys-sulatusrasitus
 - XF4 (suuri vedellä kyllästyminen ja jäänsulatusaineet tai merivesi)
- Kloridien aiheuttama korroosio
 - XD3 (jaksollinen kastuminen ja kuivuminen)
- Betonit (eri tyyppisiä betoneita)
 - Duraint (w/c 0.42, huokostettuja siltabetoneja)
 - Asiakkaiden omia koekappaleita, jne.



Sodankylä

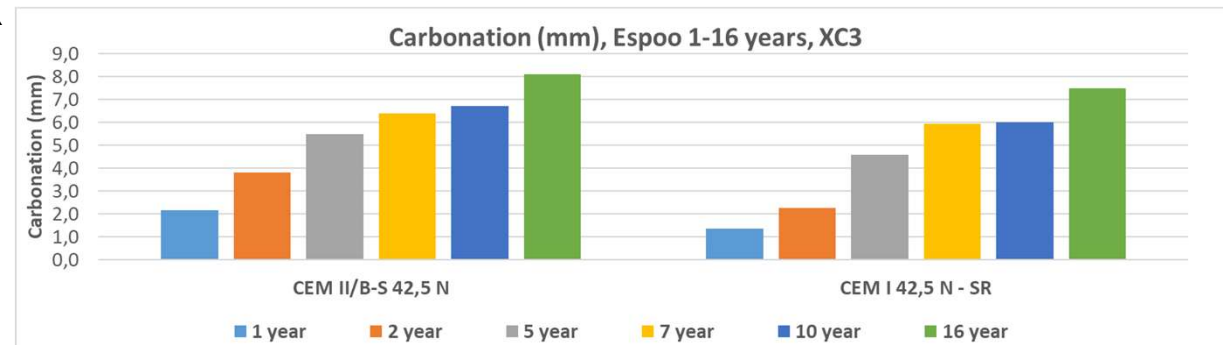
- Perustettu 2001
- Jäädytys-sulatusrasitus
 - XF3 (suuri vedellä kyllästyminen ilman jäänsulatusaineita)
 - Karbonatisoituminen
 - XC4 (jaksollinen kastuminen ja kuivuminen)
- Betonit (eri tyyppisiä betoneita)
 - CONLIFE (Korkealujuus-betonit)
 - YMPYST (samat kuin Espoossa)



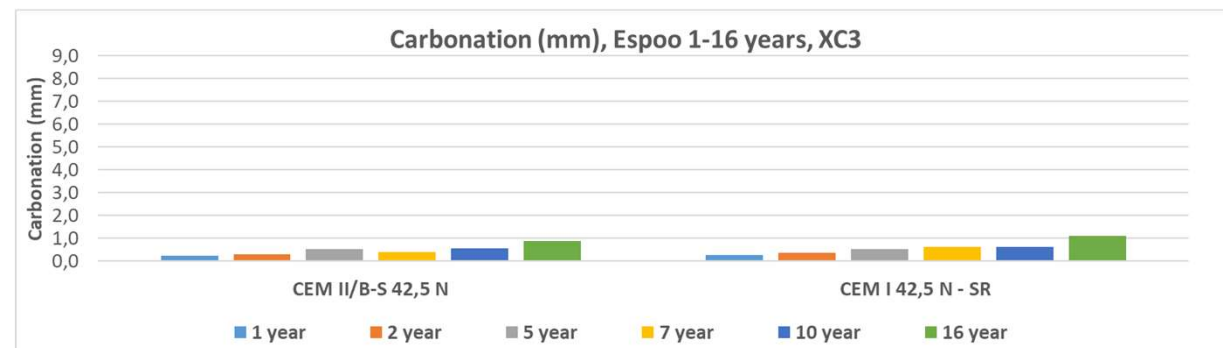
Espoo (Karbonatisoituminen)

- Perussementti CEM II/B-S 42.5 N
- SR-Sementti CEM I 42.5 N – SR

w/b ~0.6

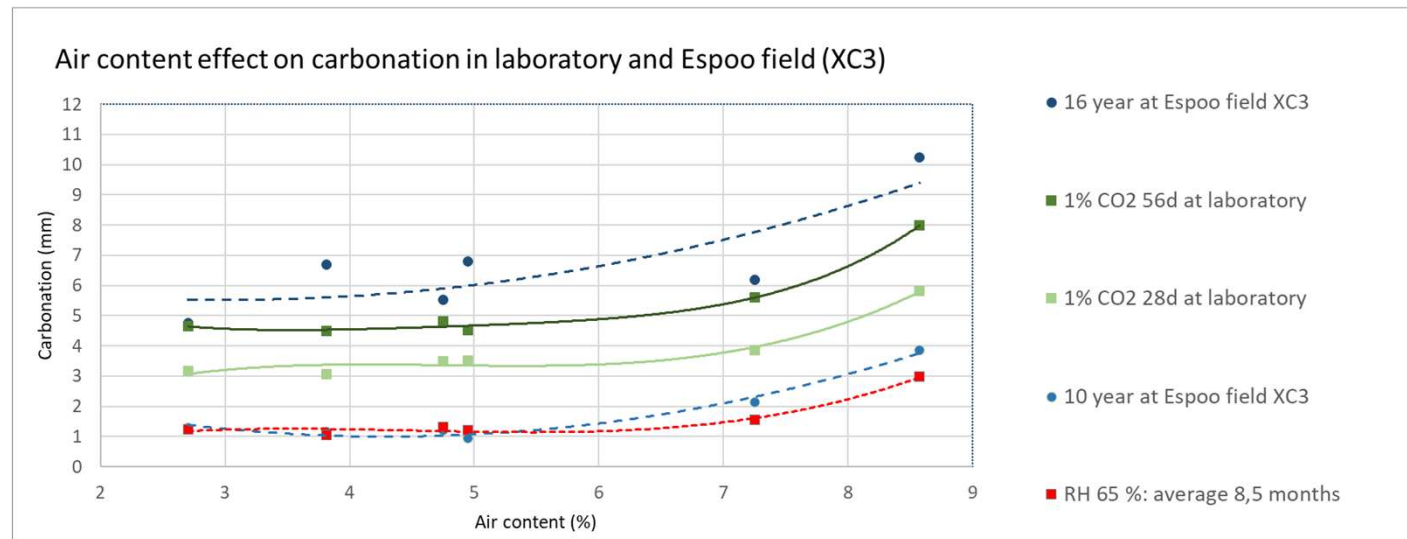


w/b ~0.42



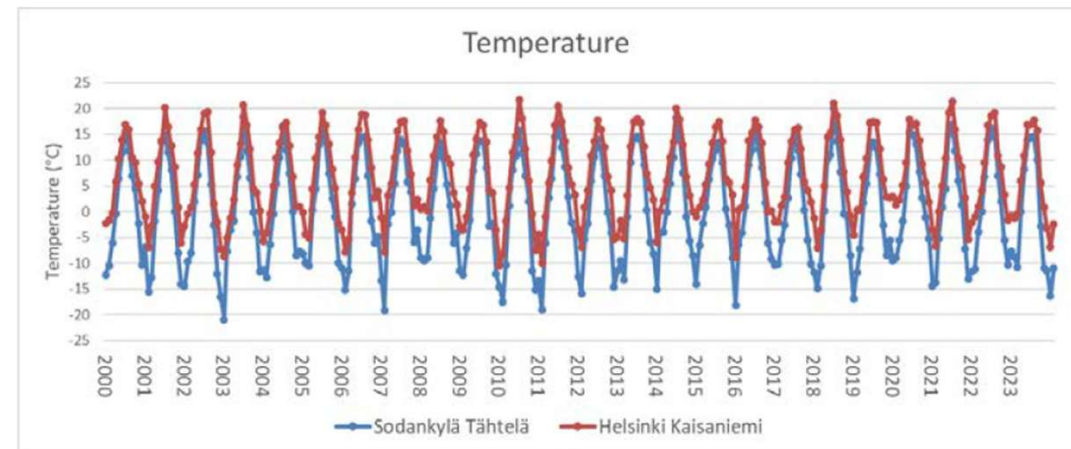
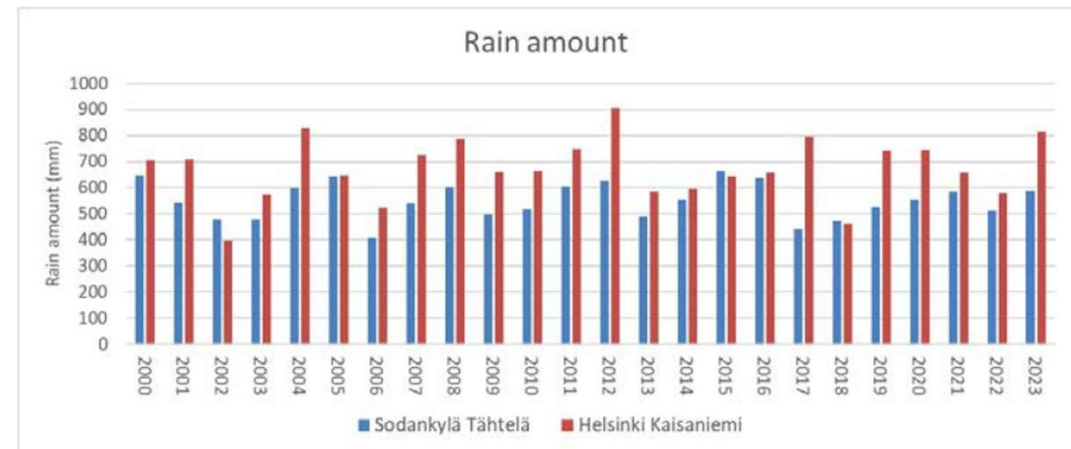
Espoo (Karbonatisoituminen)

- Tuloksia koekentältä ja laboratoriosta
- CEM II/A-M(S-LL) 42.5 N (Yleissementti)
- Ilmamäärä 2.7 % - 8.6 %

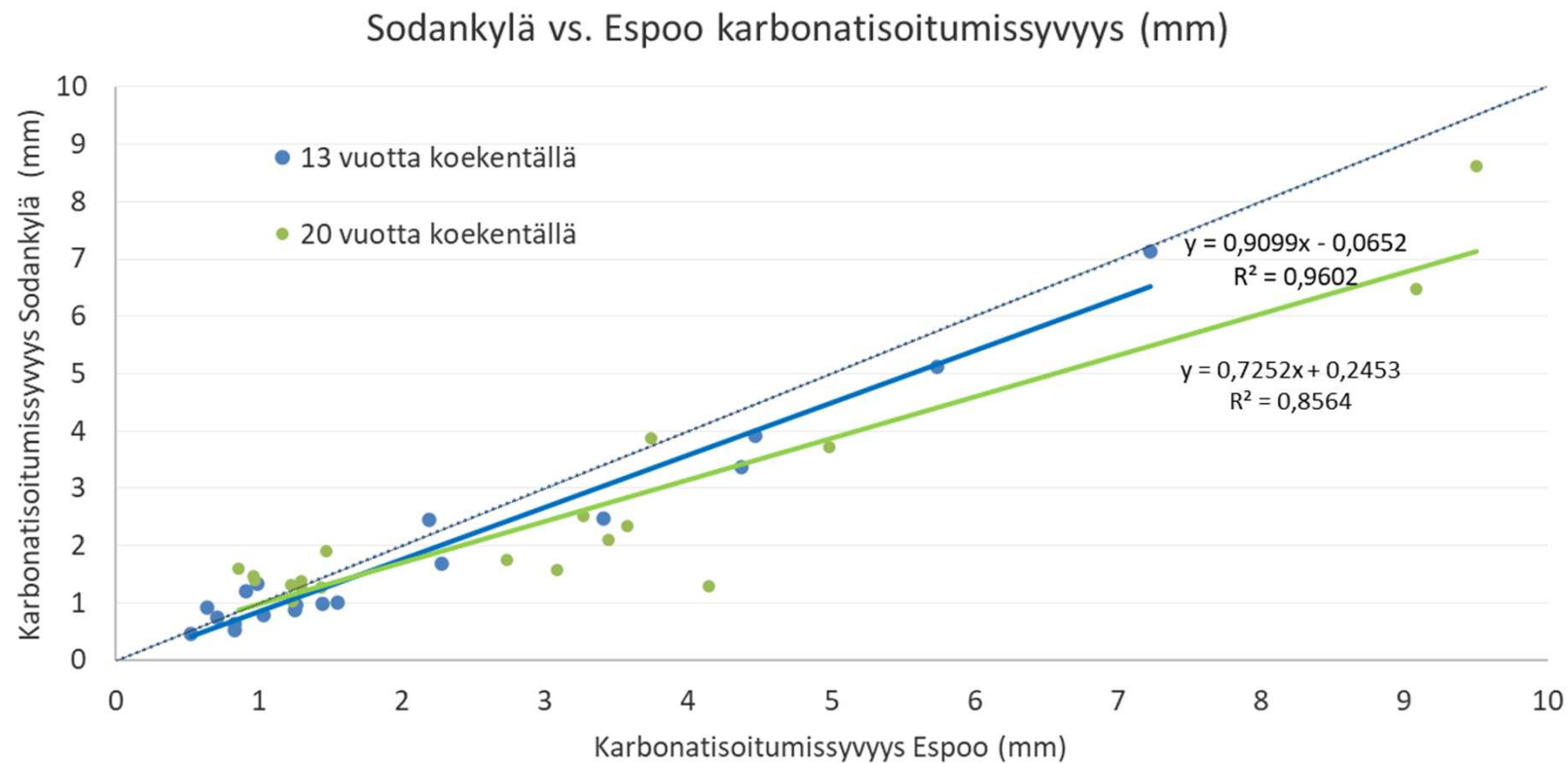


Espoo & Sodankylä (karbonatisoituminen)

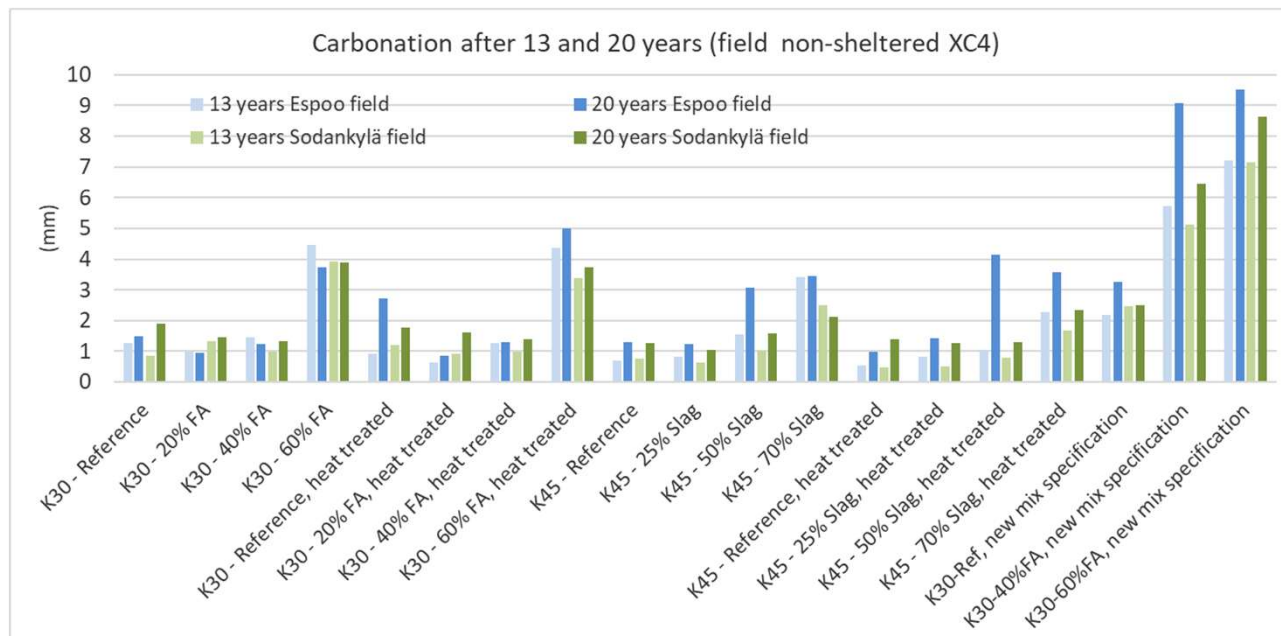
Descriptive code	Cement type	
K30 - Reference	Rapid CEM	CEM II/A-LL 42,5 R
K30 - 20% FA	Rapid CEM	CEM II/A-LL 42,5 R
K30 - 40% FA	Rapid CEM	CEM II/A-LL 42,5 R
K30 - 60% FA	Rapid CEM	CEM II/A-LL 42,5 R
K30 - Reference, heat treated	Rapid CEM	CEM II/A-LL 42,5 R
K30 - 20% FA, heat treated	Rapid CEM	CEM II/A-LL 42,5 R
K30 - 40% FA, heat treated	Rapid CEM	CEM II/A-LL 42,5 R
K30 - 60% FA, heat treated	Rapid CEM	CEM II/A-LL 42,5 R
K45 - Reference	Pikaselementti	CEM I 52,5 R
K45 - 25% Slag	Pikaselementti	CEM I 52,5 R
K45 - 50% Slag	Pikaselementti	CEM I 52,5 R
K45 - 70% Slag	Pikaselementti	CEM I 52,5 R
K45 - Reference, heat treated	Pikaselementti	CEM I 52,5 R
K45 - 25% Slag, heat treated	Pikaselementti	CEM I 52,5 R
K45 - 50% Slag, heat treated	Pikaselementti	CEM I 52,5 R
K45 - 70% Slag, heat treated	Pikaselementti	CEM I 52,5 R
K30-Ref, new mix specification	Rapid CEM	CEM II/A-LL 42,5 R
K30-40%FA, new mix specification	Rapid CEM	CEM II/A-LL 42,5 R
K30-60%FA, new mix specification	Rapid CEM	CEM II/A-LL 42,5 R



Espoo & Sodankylä (karbonatisoituminen)



Espoo & Sodankylä (karbonatisoituminen)



$$k = x/\sqrt{t}$$

Residual service life in 2026 with 25mm concrete cover (years)			
Carbonation in 20 years (mm)	Coefficient rate (k)[mm/t ^{0,5}]	Total service life t=(25mm/k) ²	Residual service life in 2026 t-(2026-2003)
5	1,1	500	477
10	2,2	125	102

Exposure class	Minimum value of concrete cover for a working life of 50 years [mm]		Minimum value of concrete cover for a working life of 100 years [mm]	
	Reinforcing steel	Prestressing steel	Reinforcement	Prestressing steel
X0	10	10	10	10
XC1	10	20	10	20
XC2	20	30	25	35
XC3, XC4	25	35	30	40
XS1, XD1	30	40	35	45
XS2, XD2	35	45	40	50
XS3, XD3	40	50	45	55

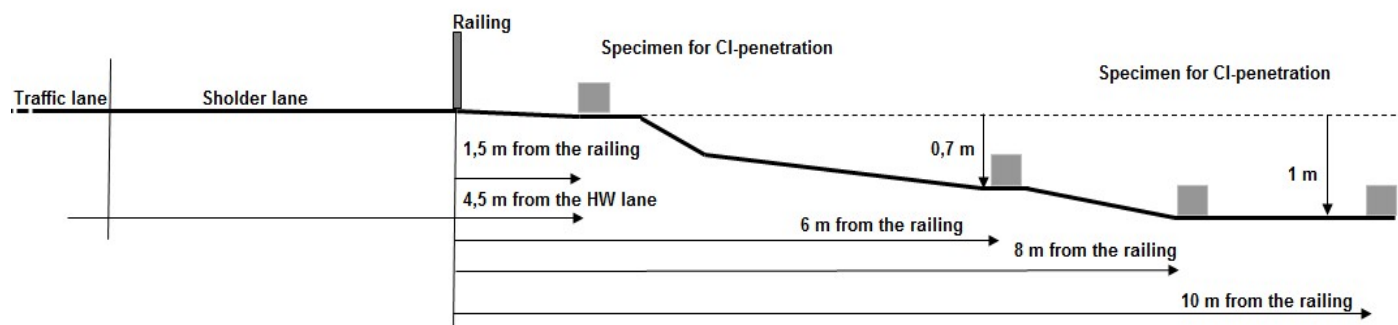
Kotka (kloridien tunkeutuminen)

- Koekappaleiden koko $300 \times 300 \times 500 \text{ mm}^3$
- Etäisyyden vaikutus
- Pinnoitteiden vaikutus
- Muottikankaan ja impregnointiaineen vaikutus



Kotka (kloridien tunkeutuminen)

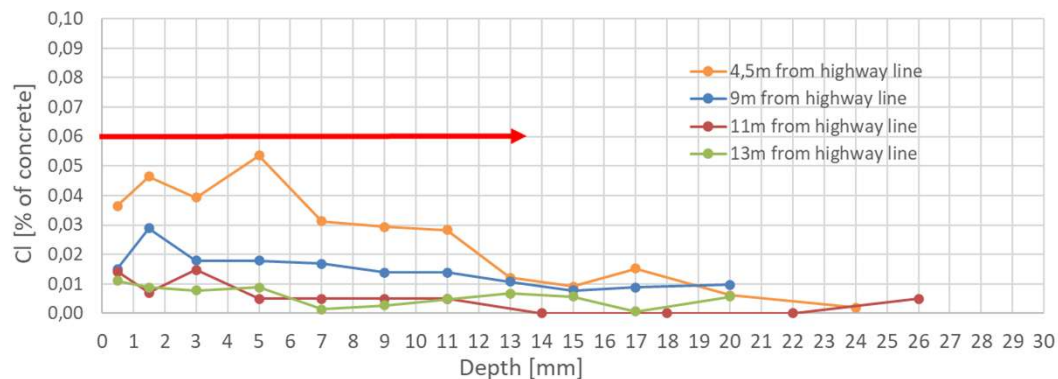
- Etäisyyden vaikutus
- HW7-Kotka, koekappaleen etäisyys tiestä (4,5-13m reunaviivasta)
- Yleissementti, CEM II/A-M(S-LL) 42,5 N, w/c=0.42, ilmamäärä ~5,5%
- Rapidsementti, CEM II/A-LL) 42,5 R w/c=0.42, ilmamäärä ~5,5%



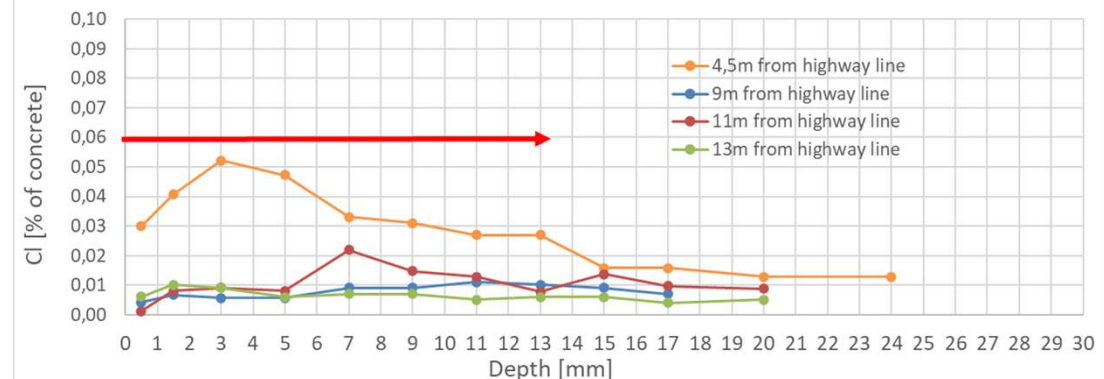
Kotka (kloridien tunkeutuminen)

- Etäisyyden vaikutus
- HW7-Kotka, koekappaleen etäisyys tiestä (4,5-13m reunaviivasta)
- Yleissementti, Sementti CEM II/A-M(S-LL) 42,5 N, w/c=0.42, ilmamäärä ~5,5%
- Rapidsementti, CEM II/A-LL) 42,5 R w/c=0.42, ilmamäärä ~5,5%

HW7 15 years results No. 8, 3A, w/b = 0.42, CEM II/A-M(S-LL) 42.5 N



HW7 15 years results No. 9, 5A, w/b = 0.42, CEM II/A-LL 42.5 R

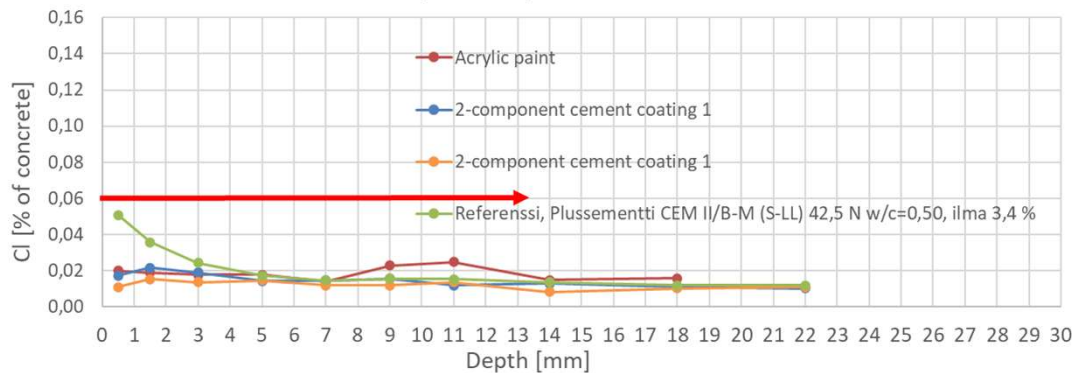


Kotka (kloridien tunkeutuminen)

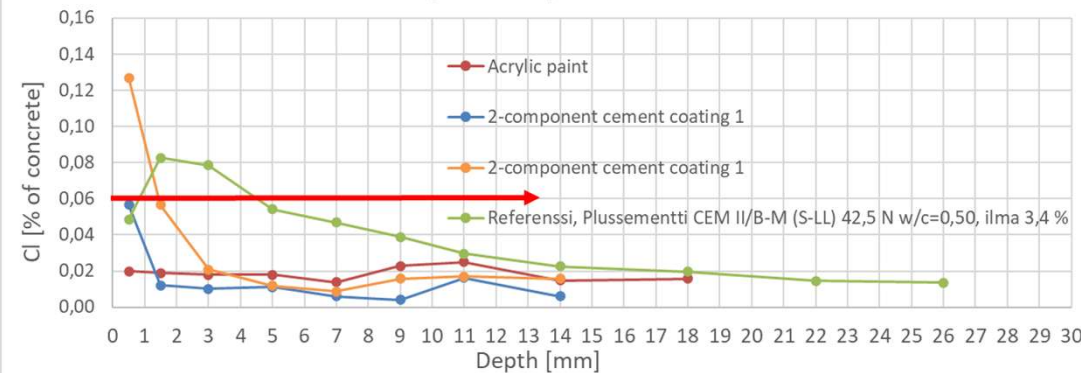
- Pinnoitteiden vaikutus
- Kolme pinnoitetta
- Referenssi lautamuottipinta
- Plussementti CEM II/B-M (S-LL) 42,5N
- w/c 0.5, ilmamäärä ~3,5%

Selittävä tunnus	Kloridimigraatiokerroin [NT Build 492]			Pinnoitteen paksuus	
	Ikä [kk]	D_{nssm} keskiarvo [$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	D_{nssm} stdev [$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	Keskiarvo [mm]	stdev [mm]
Pinnoite 1 (sementti+lateksi)	3	2,1	0,9	1,4	0,1
Pinnoite 2 (sementti+lateksi)	3	10,7	4,3	2,3	0,3
Pinnoite 3 (akryyliimaali)	3	13,9	1,5	1,2	0,3
Vertailu (lautamuottipinta)	3	16,9	1,7	(ei pinnoitetta)	

HW7 Chloride profiles 3 years results

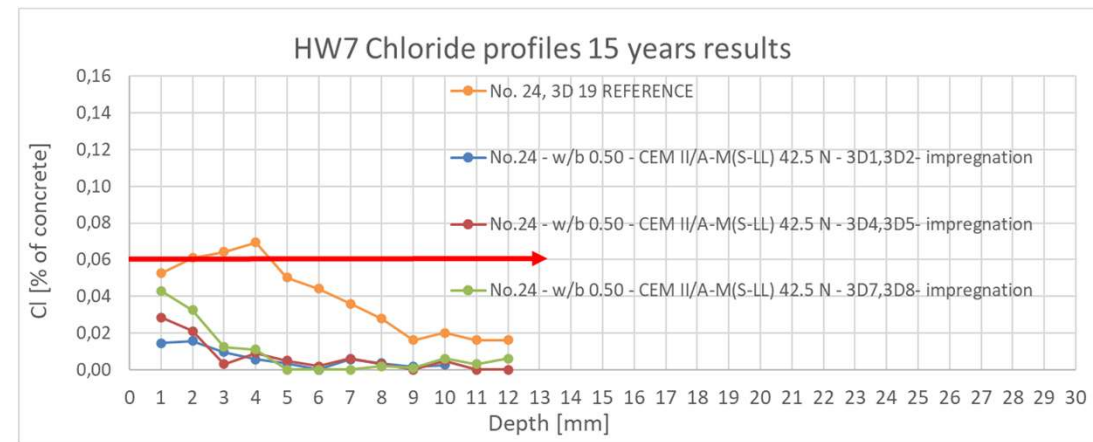
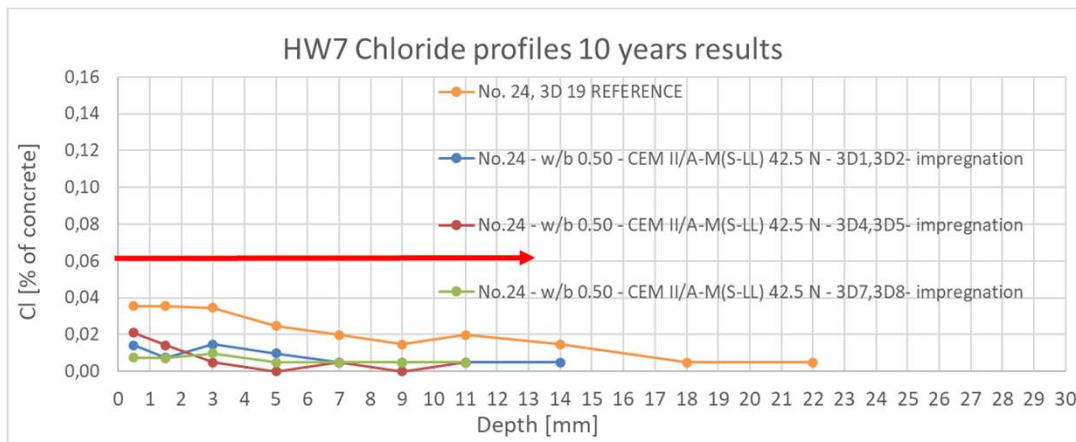


HW7 Chloride profiles 12 years results



Kotka (kloridien tunkeutuminen)

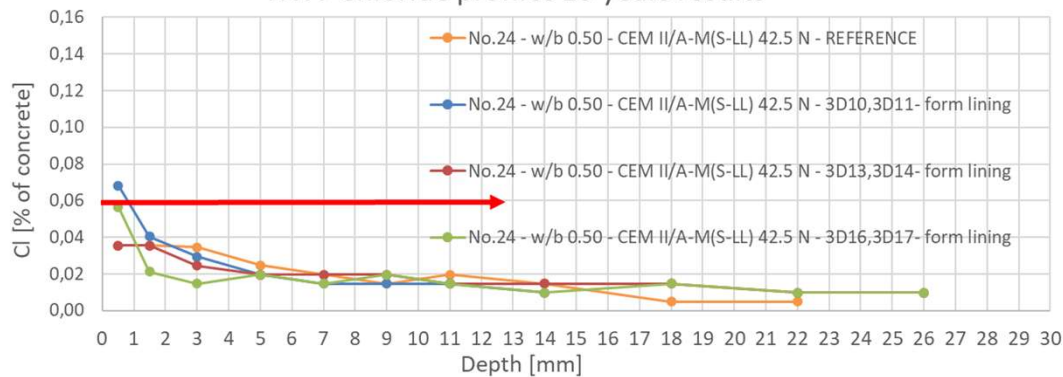
- Impregnointiaineet (3 erilaista)
- Referenssipinta lautamuottipinta
- Yleisementti CEM II/A-M(S-LL) 42,5 N
- w/c 0.5, ilmamäärä 3-4%



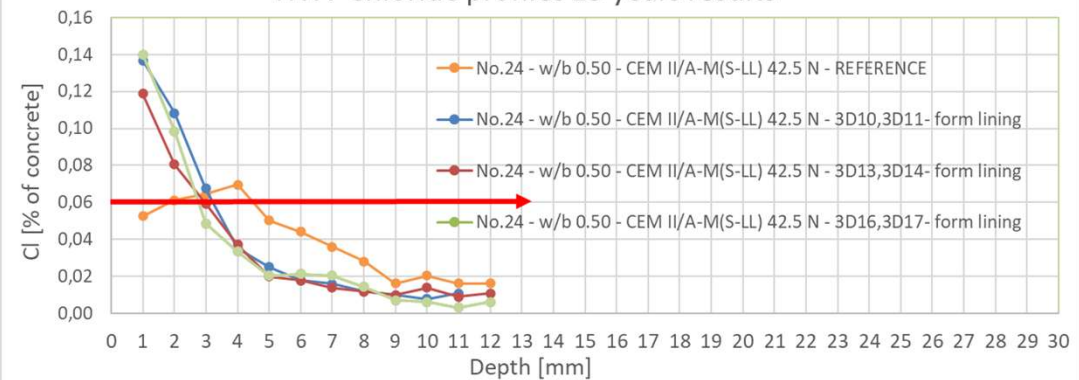
Kotka (kloridien tunkeutuminen)

- Muottikankaat (3 erilaista)
- Referenssipinta (lautamuottipinta)
- Yleissementti CEM II/A-M(S-LL) 42,5 N
- w/c 0.5, ilmamäärä 3-4%

HW7 Chloride profiles 10 years results



HW7 Chloride profiles 15 years results



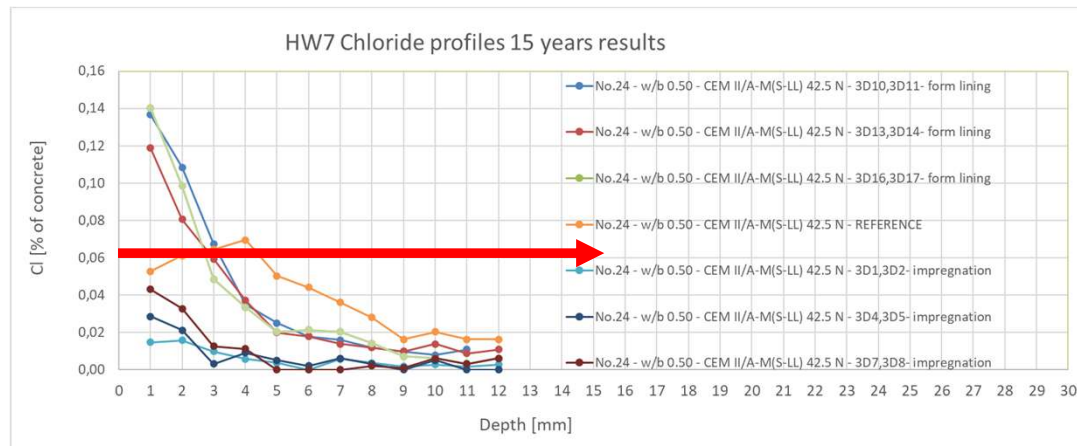
Kotka (kloridien tunkeutuminen)

- Impregnointiaineet ja muottikankaat
- Sementti CEM II/A-M(S-LL) 42,5 N
Yleissementti, w/c 0.5, ilmamäärä 3-4%
- Referenssipinta (lautamuottipinta)

REF

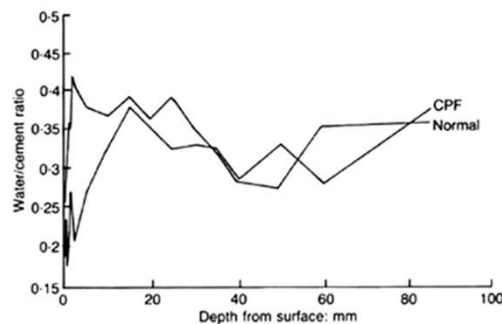
Impregnointi

Muottikangas

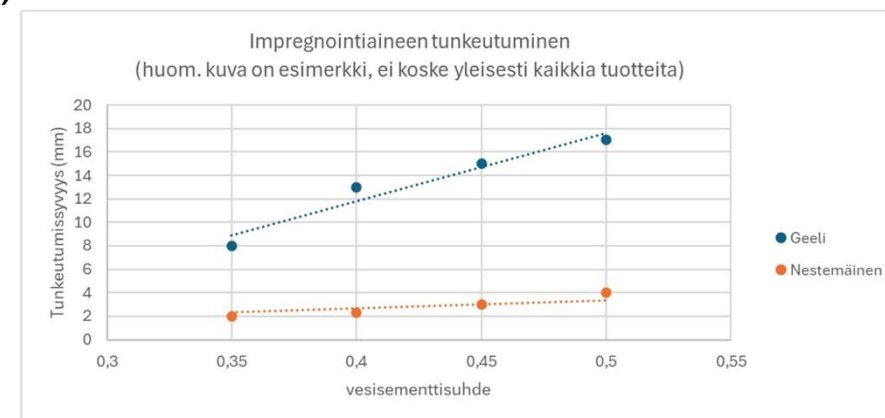


Impregnointiaineet ja muottikankaat (tutkimus)

- Käytetäänkö jompaa kumpaa vai molempia, tutkimus aloitettu.
- Tarkoitus on testata siltakohteessa impregnointiaineita ja muottikankaita erikseen sekä yhdessä. **Koekohdetta etsitään!**
- Muottikangas alentaa vesi-sementtisuhteen betonin pinnasta noin 0.4----->0.2:een
 - Vaikutus häviää kun mennään syvemmälle betoniin ja loppuu kokonaan noin 20mm kohdalla.
- Osalla impregnointiaineista on todettu suojavaikutus yli 17v (ei koske kaikkia tuotteita)
 - Vaikutus häviää ajan saatossa pinnalta, mutta säilyy betonin sisällä.
- Voidaan myös tutkia vaikutus säilyvyyteen, kloridien tunkeutuminen, pakkas-suola jne. (kiihdytetyt laboratoriokokeet + kenttätutkimukset)



[The effect of controlled permeable formwork \(CPF\) liner on the surface quality of concretes - ScienceDirect](#)



Lähde: Tuote-edustajan oma tutkimus

Yhteenveto

- Karbonatisoitumisnäytteissä eroja huomataan jo tässä vaiheessa, vaikka karbonatisoituminen itsessään on hidasta.
- Pintakäsittelyllä (pinnoitteet, impregnointi, muottikankaat) voidaan estää kloridien tunkeutumista betoniin.
- Jatkossa huomioitavaa:
 - Vaurioimekanismien ja ympäristörasitusolosuhteiden yhteisvaikutus on tärkeä ymmärtää
 - Tulosten painoarvo kasvaa pitkällä aikavälillä.
 - Kenttätutkimusten tuloksia hyödynnetään mm. standardoinnissa, ohjeissa, laboratoriotestimenetelmien kehittämisessä, käyttöikämallit jne.
 - Esimerkkejä uusista tuotteista kentällä tulevaisuudessa
 - Uudet betonireseptit (vaihtoehtoiset sideaineet, vähähiilinen betoni jne.)
 - Uudet tuoteratkaisut mitkä parantavat betonin säilyvyyttä, esim. pintakäsittelyt).

Kiitos!

ville.sjoblom@vtt.fi

