

BYG R-437, 2020

Imprægneringsmidlers indvirkning på betons holdbarhed

Del 3: Undersøgelse af effekten af imprægnering på udviklingen af revner og ekspansioner i potentiel AKR-beton i udendørs fugtigt miljø

Rikke Kofoed, Laura Vivanni Larsen, Kurt Kielsgaard Hansen, Ricardo Antonio Barbosa, Bent Grelk, Svend Bødker Hansen



Rapport BYG R-437

2020

Af Kofoed, R., Larsen, L.V., Hansen, K.K., Barbosa, R.A., Grelk, B., Hansen, S.B.

Copyright:	Hel eller delvis reproduktion af denne rapport er tilladt med kildehenvisning
Forsidebillede:	Betonblokke på DTU Byg's eksponeringsareal. Foto: Rikke Kofoed
Publiceret af:	Institut for Byggeri og Anlæg, Brovej
Rekvireres fra:	www.dtu.dk

ISBN:	8778775361
-------	------------

Indhold

1	Introduktion	1
2	Baggrund	1
2.1	Anvendt imprægneringsprodukt	1
2.2	AKR-reaktioner	1
3	Prøveemner	2
3.1	Introduktion af prøveemnerne	2
3.2	Udførelse af imprægnering	3
3.3	Implementering af HumiGuard sensorer	5
3.4	Betonblokkene	7
3.5	Betonproportionering	8
3.6	Eksponeringsforhold	9
4	Fugtoptagelse	10
5	Ekspansion	11
6	Konklusion	14
7	Litteratur	15
8	Appendiks	16
8.1	Revner i betonblokkene	16

1 Introduktion

Denne rapport er et sammendrag af bachelorprojektet ”Effekten af imprægnering på fugt- og kloridindtrængning i højkvalitetsbeton vurderet ved hjælp af destruktive og ikke-destruktive målemetoder” [1] og specialkurset ”Kontrollering af AKR-reaktionen i beton med overfladebehandling” [2] udført ved DTU Byg. I denne rapport er den relative luftfugtighed og ekspansionen målt af imprægneret og ikke imprægneret beton med forskellige vand/cement forhold (v/c-forhold). Efter projekternes afslutning er der fortsat udført målinger på prøveemnerne. Resultaterne af den relative luftfugtighed bruges til at indikere udviklingen af fugtindholdet i betonen, hvor ekspansionsresultaterne bruges til at indikere udviklingen af alkalisk-reaktioner (AKR) i betonblokkene med potentielt AKR. De udstøbte betonblokke har dimensionerne 0,3m x 0,3m x 0,3m. Der er foretaget undersøgelser af imprægneringsmidlet - SILRES BS Creme C - effekt på udviklingen af den relative luftfugtighed og ekspansionen i AKR-beton.

2 Baggrund

2.1 Anvendt imprægneringsprodukt

Det produkt, som blev brugt til imprægnering af betonblokkene er SILRES BS Creme C. Det har en cremet gelkonsistens og er designet til at trænge ind i betonen for at give en optimal beskyttelse af beton mod indtrængning af vand. SILRES BS Creme C er et silanbaseret thixotropisk imprægneringsmiddel.

2.2 AKR-reaktioner

Alkalisk-reaktioner er en fysisk kemisk proces mellem kiselholdige tilslag og alkalier i porevæsken i betonen. Fugt er nødvendig for udviklingen af AKR. Tidligere eksperimenter har vist, at den kritiske værdi af den relative luftfugtighed for AKR er ca. 82 %. Betonkonstruktioner, der udsættes for udeklima med både regn og tørring, har gunstige betingelser for udvikling af AKR pga. høje værdier af den relative luftfugtighed og temperatur. Ved AKR dannes kiselgel, som inducerer et tryk inde i betonen, der får betonen til at ekspandere. Dette kan føre til alvorlige revner i betonen.

3 Prøveemner

3.1 Introduktion af prøveemnerne

Ved projektets begyndelse blev der støbt otte betonblokke (0,3m x 0,3m x 0,3m) med betonsammensætningen vist i tabel 1. Halvdelen af blokkene har et v/c-forhold på 0,45 og den anden halvdel har et v/c-forhold på 0,55. Halvdelen af blokkene består af sandtilslag med potentiale til at udvikle AKR, og halvdelen af blokkene er imprægneret med Silres BS Creme C. Oversigten over betonblokkene ses i figur 4. Der blev indsat måletappe til ekspansionsmålinger og sensorer (HumiGuard) i hver betonblok.

HumiGuard sensorerne måler den relative luftfugtighed og temperatur i betonen. Den relative luftfugtighed og temperatur i betonen er målt fra oktober 2018 til januar 2020, mens betonens ekspansion er målt fra april 2018 til januar 2020.



Figur 1: En betonblok med fire måletappe på DTU Byg's eksponeringsareal.

3.2 Udførelse af imprægnering



Alkalisk rengøringsmiddel

Betonblokkene blev klargjort inden den forestående imprægnering ved en grundig rengøring af overfladerne. Her blev der brugt et alkalisk rengøringsmiddel (Turbo EX). Efterfølgende blev overfladerne grundigt vasket med vand.



Ventileret

Efter den alkaliske rengøring af betonen blev blokkene ventileret i to dage med ventilatorer. Betonblokkene blev opbevaret indendørs.



Imprægnering

Et par dage efter rengøringen blev betonblokkene imprægneret med SILRES BS Creme C - 9 dage efter støbning. Imprægneringen blev påført i et jævnt lag med en malerpensel. Efter påføring af imprægnering blev blokkene opbevaret indendørs. Der blev brugt 300 g/m^2 SILRES BS Creme C, og hver overflade fik dermed påført 27 g i en påføring.



Bore huller til måletapper

Der er efterfølgende blevet boret huller i betonblokkene, hvor det overskydende betonstøv er blevet fjernet med komprimeret luft.



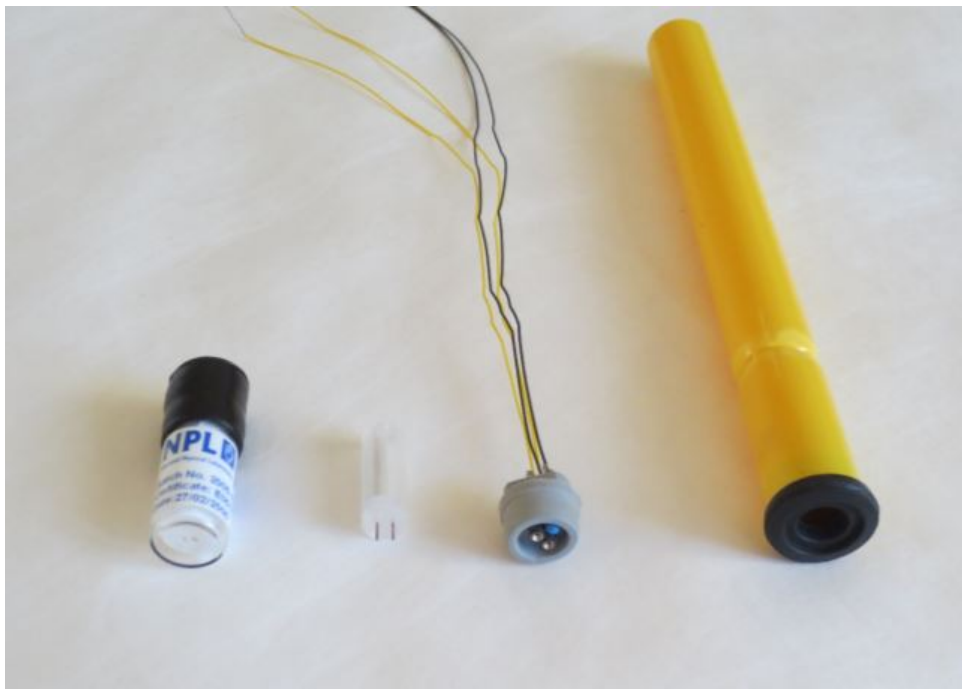
Indsættelse af måletappe

De borede huller blev tilført små stykker isoleringsmateriale (Armaflex) i bunden af huller. Måletappene blev renses med benzen og limet fast i hullerne med X60-lim. To modstående huller blev fyldt med lim på samme tid, og to måletappe blev indsat. En referencestrang og nogle små blokke blev benyttet til at holde måletappene på plads. De første fire blokke (5.A, 5.B, 5.C og 5.D) indeholder på fire overflader, fire måletappe i hver overflade, dvs. placeret på toppen, på sydvest-siden, på nordvest-siden og på nordøst-siden. De sidste fire blokke (5.E, 5.F, 5.G og 5.H) indeholder på tre overflader, fire måletappe i hver overflade, dvs. placeret på toppen, på sydvest-siden og på nordvest-siden. Efterfølgende blev betonblokkene bragt ud på eksponeringsarealet.

3.3 Implementering af HumiGuard sensorer

Udstyret

HumiGuard-sensorerne kan måle den relative luftfugtighed og temperatur i et interval på 75-98 % relativ luftfugtighed og 0-40 °C. HumiGuard-systemet anvender en ledningsevnmåler til at aflæse ledningsevnen mellem to ledninger i HumiGuard-sensoren til henholdsvis den relative luftfugtighed og temperaturen. I figur 2 ses HumiGuard udstyret.



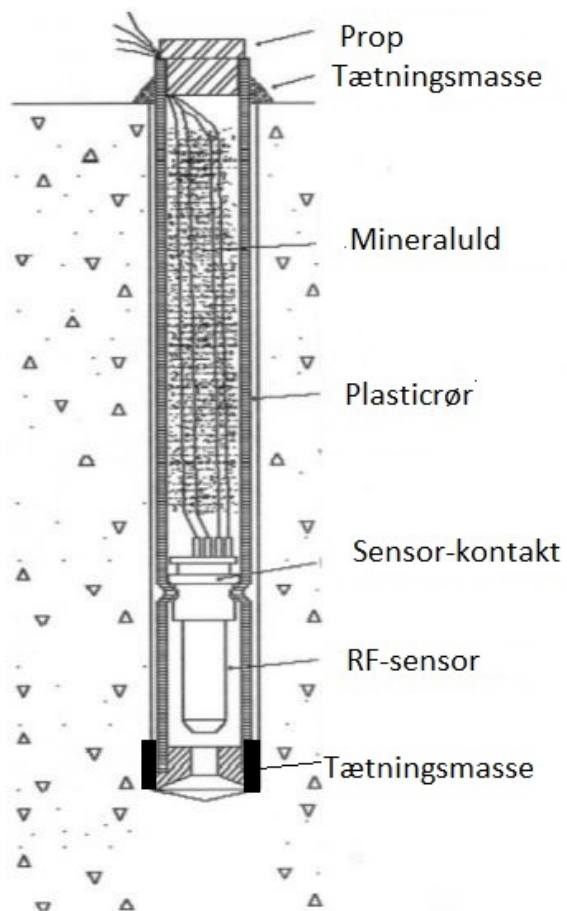
Figur 2: HumiGuard-udstyret fra venstre: Reference-celle på 85% RF, RF-sensor, sensor-kontakt og plastikmålerør til indsættelse i betonen.

Referenceblok

Referencecellen på 85 % relative luftfugtighed jf. figur 2 indsættes i en referenceblok der står ved rumtemperatur i laboratoriet. Der blev brugt to referencesensorer permanent indsat i referenceblokken til alle målinger. Det betød, at hver gang der skulle foretages målinger i betonblokkene, blev der taget en referencemåling af begge sensorer før og efter måling.

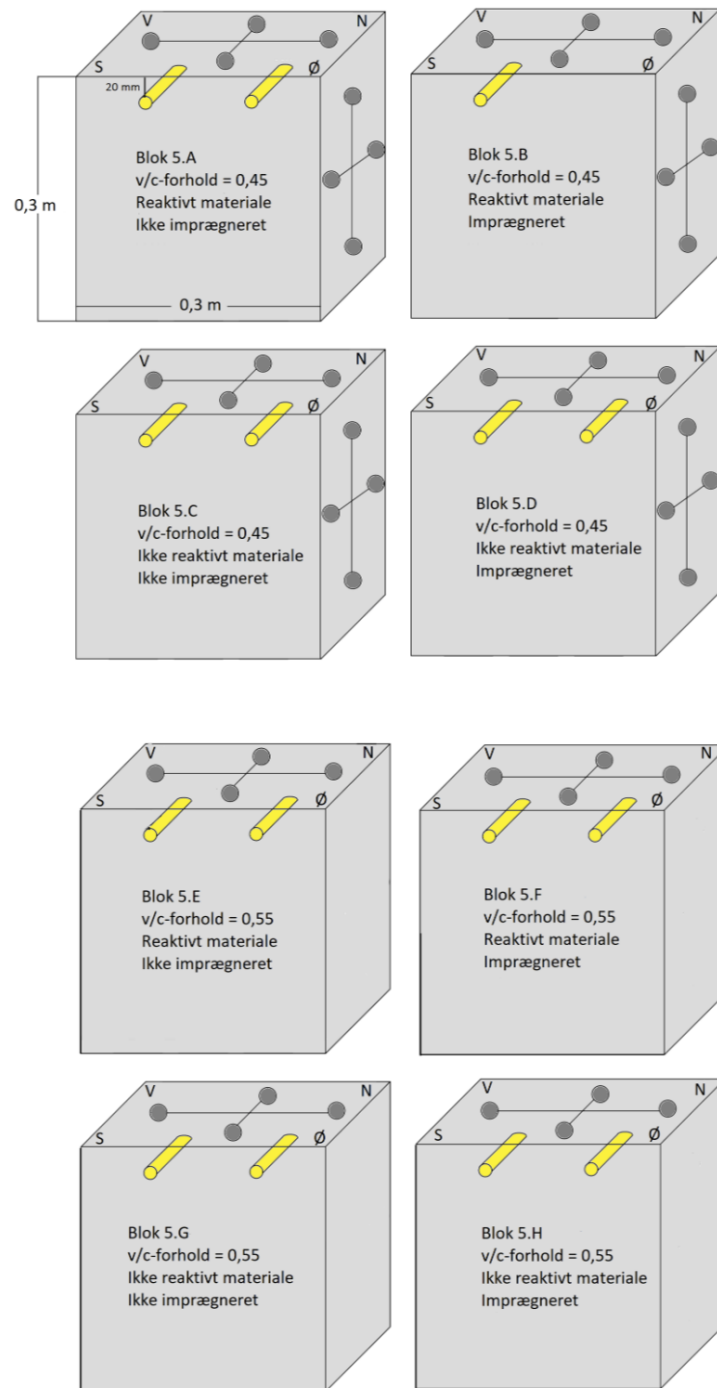
Indsætning af plastikrør og sensor i betonblokke

Der blev boret huller i betonblokkene for at implementere HumiGuard-sensorerne. Ledningerne, som er forbundet med sensorkontakten, stikker ud gennem mineralulden, så de kan tilgås, når der foretages målinger. Princippet kan ses i figur 3. Plastikrørene med HumiGuard-sensorerne er placeret 2 cm fra overfladen af toppen af betonen, og de er placeret symmetrisk, se figur 4.



Figur 3: Indsat plastikrør og sensor i betonblok, hvor tegning er viderebearbejdet fra [3].

3.4 Betonblokkene



Figur 4: De otte betonblokke med forskellige v/c-forhold, reaktivt og ikke-reaktivt tilslag, med og uden imprægnering.

3.5 Betonproportionering

Tabel 1: Betonsammensætning

Blok [0.3m × 0.3m × 0.3m]	Blok 5.A og 5.B	Blok 5.C og 5.D	Blok 5.E og 5.F	Blok 5.G og 5.H
Dato for støbning	05-03-2018	12-03-2018	19-03-2018	09-04-2018
v/c-forhold	0,45	0,45	0,55	0,55
Cement type	CEM I - Høj alkali Portland cement	CEM I - Lav alkali Portland cement	CEM I - Høj alkali Portland cement	CEM I - Lav alkali Portland cement
Cement [kg/m ³]	500	500	500	500
Total N_{a_2O} [kg/m ³] indhold i beton	5	2,7	5	2,7
Sandtilslag	Potentielt reaktivt sandtilslag	Potentielt ikke-reaktivt sandtilslag	Potentielt reaktivt sandtilslag	Potentielt ikke-reaktivt sandtilslag
Sandtilslag (mængde) [kg/m ³]	620,2	634,2	577,2	581,9
Stentilslag 1 (mængde) (Rønne Granit 4-8 mm) [kg/m ³]	326,8	327,8	299,8	300,8
Stentilslag 2 (mængde) (Rønne Granit 11-16 mm) [kg/m ³]	632,0	633,9	579,8	581,6
Vand [kg/m ³]	225,0	225,0	275,0	275,0

3.6 Eksponeringsforhold

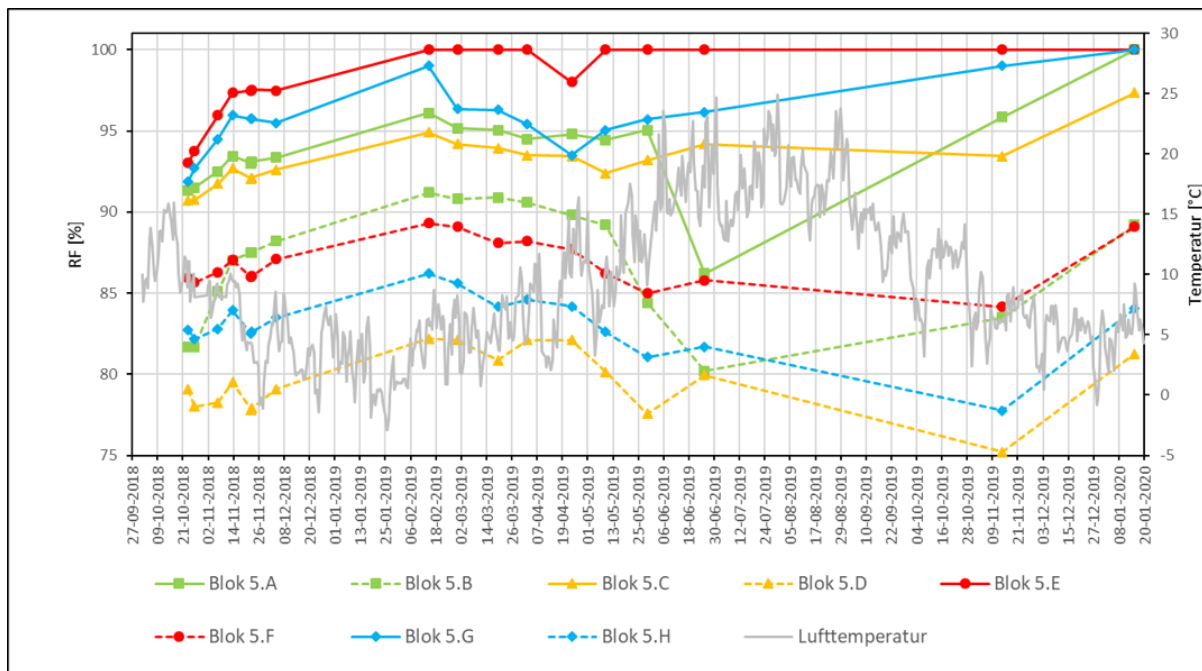
Betonblokkene er placeret på et separat eksponeringsareal i udkanten af DTU. Eksponeringsarealet er dækket af småsten med en diameter på 8-16 mm. For at undgå at betonblokkene opsuger vand fra jorden hviler hver blok på murpap og fire betonsten. Alle målingerne er blevet foretaget in-situ.



Figur 5: Eksponeringsarealet.

4 Fugtoptagelse

Da der er to RF-sensorer i hver blok (på nær blok 5.B), så er der blevet regnet en gennemsnitsværdi af den relative luftfugtighed for hver blok. Resultatet af den gennemsnitlige relative luftfugtighed for hver blok kan ses på figur 6.



Figur 6: Relativ luftfugtighed (gennemsnitsværdi af to sensorer) for alle blokke samt lufttemperaturen.

På figur 6 er de stiplede linjer resultaterne for de imprægnerede blokke, og de fuldt optrukne linjer er resultaterne for de blokke, der ikke er imprægneret. Resultaterne viser, at de blokke, der ikke er imprægneret, har en højere relativ luftfugtighed, end de blokke, der er imprægneret. Den silanbaseret imprægnering sænker dermed den relative luftfugtighed. Det kan også ses på figur 6, at blokkene med reaktivt materiale har en højere relativ luftfugtighed, end de blokke, der ikke har reaktivt materiale. Desuden kan det ses, at blokkene med det høje v/c -forhold ($v/c = 0,55$) har en højere relativ luftfugtighed end blokkene med det lavere v/c -forhold ($v/c = 0,45$). Den gennemsnitlige lufttemperatur er også vist på figur 6. Lufttemperaturen svinger meget i løbet af året, og det er værd at notere, at der ikke har været mange dage med frostgrader i vinteren 2019/2020.

De ikke imprægnerede blokke har ca. 10 % højere relativ luftfugtighed end de imprægnerede blokke. Imprægneringen reducerer dermed fugtindtrængningen fra udeklimaet. Resultaterne i figur 6 indikerer, at imprægneringen kan reducere udviklingen af potentiel AKR, da AKR-udviklingen afhænger af, om den relative luftfugtighed er høj nok. Når den relative luftfugtighed er nede omkring 82 %, så stopper udviklingen af AKR i betonen. Jo lavere den relative luftfugtighed er, jo langsommere er udviklingen af AKR, så selvom den ikke er 82 % for de imprægnerede reaktive blokke (Blok 5.B og 5.F), så har imprægneringen alligevel en hæmmende effekt på den potentielle AKR-udvikling.

Resultaterne i figur 6 indikerer også, at de reaktive betonblokke absorberer mere vand end de ikke reaktive betonblokke, hvilket indikerer, at der sker en AKR-udvikling i betonblokkene med reaktivt materiale. Lufttemperaturen har også påvirket betonblokkenes relative luftfugtighed. Om vinteren stiger den relative luftfugtighed lidt sammenlignet med sommeren, hvor den relative luftfugtighed falder lidt. Mere vand fordamper fra betonens overflade om sommeren pga. den høje temperatur.

5 Ekspansion

Ekspansionsmålingerne er blevet taget fra de forskellige overflader af hver blok. Den specifikke placering af måletappene kan ses på figur 4. De gennemsnitlige ekspansionsresultater for alle overfladerne fra hver blok kan ses på figur 8. Her illustrerer de stiplede linjer de ekspansions- og svindresultater, hvor blokkene er blevet imprægneret, og ligeledes illustrerer de fuldt optrukne linjer de ekspansions- og svindresultater, hvor blokkene ikke er blevet imprægneret. Figur 4 indeholder både reaktive og ikke-reaktive blokke, hvor blokkene 5.C, 5.D, 5.G og 5.H er de ikke-reaktive blokke. Disse fire blokke er blot referencer i dette forsøg. Det er hermed ikke forventet, at disse blokke skal vise bemærkelsesværdige resultater, men blot være referencer til de reaktive blokke. De reaktive blokkene 5.A, 5.B, 5.E og 5.F viser derimod de mest interessante resultater - som forventet.

Betragtes figur 8 er det kun den ikke-imprægnerede blok 5.E med et vand/cement-forhold på 0,55, som er ekspanderet. Dette resultat understøttes af revnemønsteret på blokken, som kan ses på figur 15. Det bemærkelsesværdige er, at den tilsvarende blok 5.F, som indeholder samme slags materiale, har samme vand/cement-forhold og endda er fra samme støbning, hverken har nogle revner eller er ekspanderet. Den eneste forskel der er på blok 5.E og 5.F er, at blok 5.F er imprægneret med Silres BS Creme C.

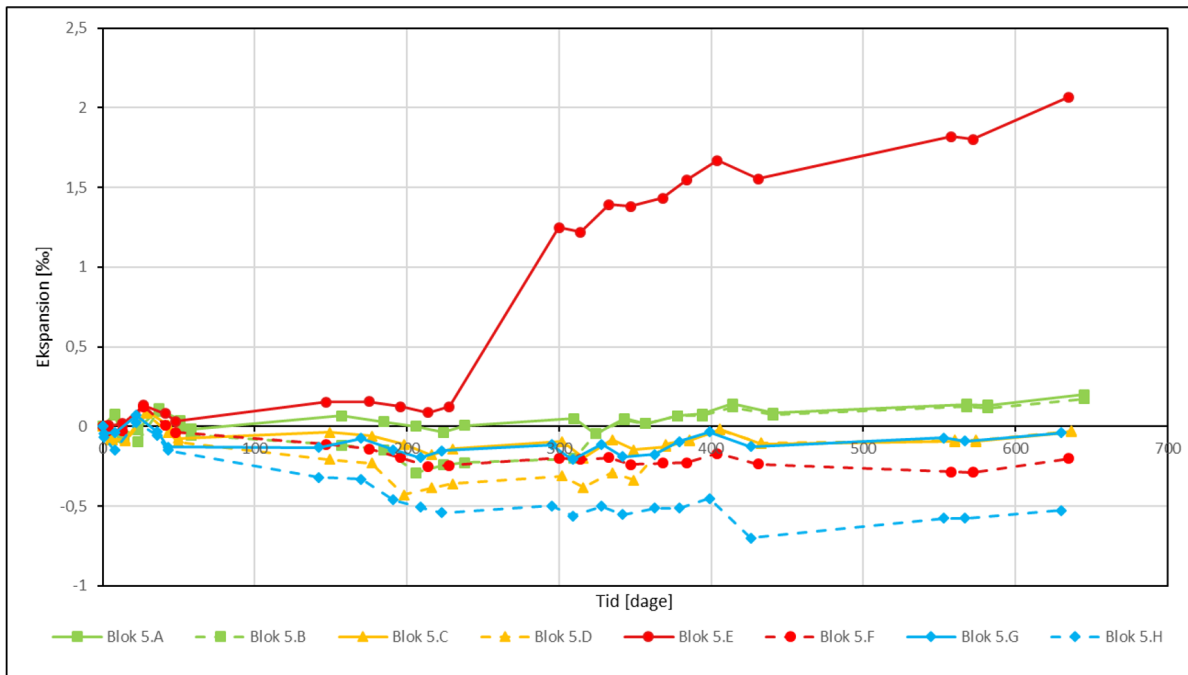
Betragtes blok 5.A i figur 8 ses det, at der ikke er sket nogen signifikant ekspansion endnu. Blok 5.B, som er fra støbning som blok 5.A, er imprægneret og har ingen revner eller ekspansion. Det er forventeligt, at blok 5.A med tiden vil ekspandere, ligesom blok 5.E har gjort det. Forklaringen på den manglende ekspansion i blok 5.A er begrundet i dens v/c-forhold og følgende udsagn. Jo mere porøst pasta en betonblok indeholder, jo mere plads er der til AKR-gelen og jo letter finder AKR-gelen plads indtil at blokken ekspanderer. Højt v/c-forhold med høj porøsitet har også større vandtransport ind i betonen fra udeklimaet. Dvs. at en betonblanding med lavt v/c-forhold vil være længere tid om at ekspandere. I blok 5.E, som har et højt v/c-forhold, er der mere vand og til sammenligning mere porøst pasta.



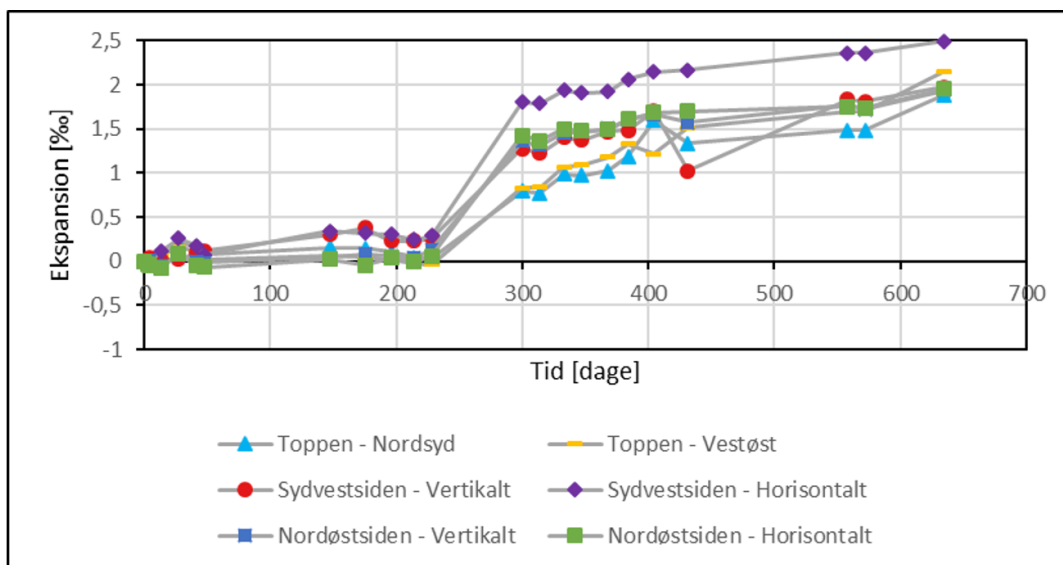
Figur 7: Ekspansionsmålinger bliver foretaget på eksponeringsarealet.

Den ikke imprægnerede blok 5.E med et vand/cement-forhold på 0,55 har ved sidste måling i januar

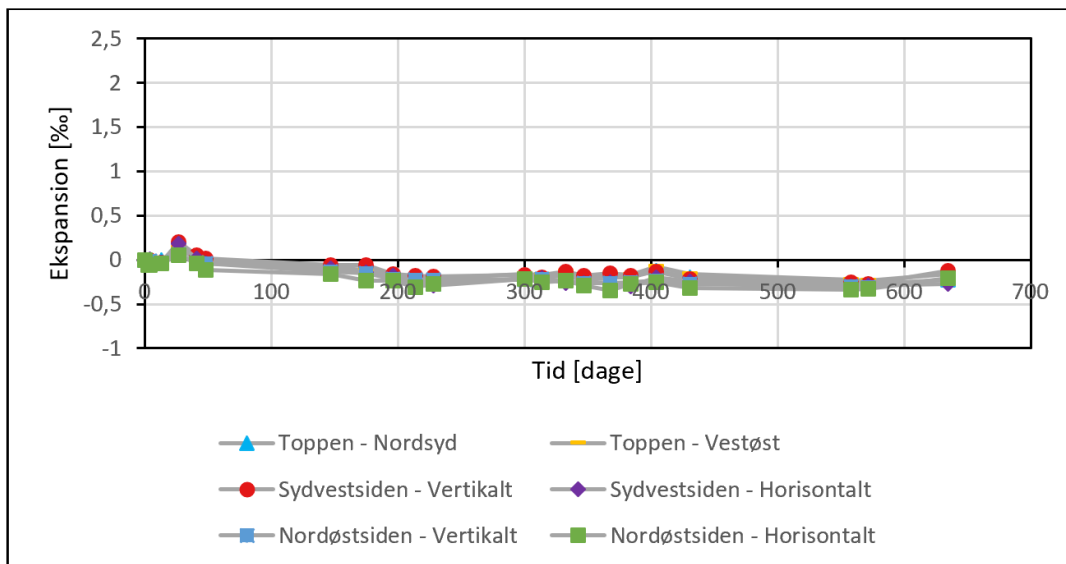
2020 opnået en ekspansion på 2 promille. Her skal det bemærkes, at man allerede ved en ekspansion på 1 promille kan se revner med det blotte øje. Betragtes den tilsvarende imprægnerede blok 5.F med et vand/cement-forhold på 0,55, ses der hverken revner eller ekspansion. I denne undersøgelse er det også registreret, at hastigheden af AKR-udviklingen er forskellig, alt efter om der er tale om et 0,45 eller 0,55 vand/cement-forhold. Betragtes figur 9 og 10 ses ekspansionsudviklingen over knap 2 år for blok 5.E og 5.F. Der er foretaget to ekspansionsmålinger på tre af blokkens sider. Den eneste forskel, der er på blokkene, er, at 5.F er imprægneret. Ekspansionen ses ganske tydeligt på figur 9, mens der ingen ekspansion er på figur 10. Der kan hermed argumenteres for, at imprægneringen er et effektivt middel til at forhindre revnedannelse i ny beton.



Figur 8: De gennemsnitlige ekspansionsresultater for de otte betonblokke, hvor de stiplede linjer indikerer, at blokkene er imprægneret, og de fuldt optrukne linjer indikerer at blokkene ikke er blevet imprægneret.



Figur 9: Ekspansionsresultaterne fra blok 5.E.



Figur 10: Ekspansionsresultaterne fra blok 5.F.

6 Konklusion

Efter at have undersøgt imprægneringsmidlet SILRES BS Creme C's effekt på udviklingen af den relative luftfugtighed og ekspansionen i betonblokke med potentiel AKR kan det konkluderes, at imprægneringen sænker den relative luftfugtighed og bremser ekspansionen af betonen. Den relative luftfugtighed i den imprægnerede reaktive betonblok 5.E med et v/c -forhold på 0,55 har opnået en ca. 10 % lavere relativ luftfugtighed sammenlignet med dens tilsvarende ikke-imprægnerede blok 5.F. Dette indikerer, at imprægneringen kan reducere udviklingen af potentiel AKR.

Derudover kan det også konkluderes, at der er en signifikant forskel i ekspansionen af imprægneret beton kontra ikke imprægneret beton. Den reaktive ikke imprægnerede betonblok blok 5.E med v/c -forhold 0,55 har udviklet tydelige revner, der kan spottes med det blotte øje. Ekspansionen overstiger 1 promille. Den tilsvarende imprægneret blok 5.F har ikke udviklet nogle revner på overfladen, og den er heller ikke ekspanderet. Det kan hermed konkluderes, at imprægneringen har haft en betydelig indvirkning på de reaktive betonblokkes holdbarhed i løbet af deres knap to første levetidsår.

Ydermere kan det konkluderes, at betonblokkene med det høje v/c -forhold på 0,55 har en højere relativ luftfugtighed end blokkene med det lavere v/c -forhold på 0,45. Den reaktive ikke imprægnerede betonblok 5.A med v/c -forhold 0,45 er endnu ikke begyndt at ekspandere, og først i januar 2020 er den relative luftfugtighed i denne blok kommet op på samme niveau som den reaktive ikke imprægneret betonblok 5.E med v/c -forhold 0,55.

Det kan også konkluderes, at betonblokkene med reaktivt materiale har en højere relativ luftfugtighed end de blokke, der ikke har reaktivt materiale. Da det er nødvendigt med et højt fugtindhold i betonen for at AKR-udviklingen kan ske, vil det være en stor fordel at imprægneret beton med potentiel AKR for at sænke den relative luftfugtighed væsentligt og reducere ekspansionen af betonen.

7 Litteratur

Litteratur

- [1] R. Kofoed og L. V. Larsen: *Effekten af imprægnering på fugt og kloridindtrængning i højkvalitetsbeton vurderet ved hjælp af destruktive og ikke-destruktive målemetoder*. Bachelorrapport, DTU Byg, 2018.
- [2] R. Kofoed og L. V. Larsen: *Kontrollering af AKR-reaktioner i beton ved overfladebehandling*. Rapport fra specialkursus, DTU Byg, 2019.
- [3] <http://www.rbk.nu/> Rådet för ByggKompetens, Stockholm, Sverige, tilgået februar 2020.

8 Appendiks

8.1 Revner i betonblokkene



Figur 11: Overfladerne af blok 5.A.



Figur 12: Overfladerne af blok 5.B.



Figur 13: Overfladerne af blok 5.C.



Figur 14: Overfladerne af blok 5.D.



Figur 15: Overfladerne af blok 5.E.

IMPRÆGNERINGSMIDLERES INDVIRKNING PÅ BETONS HOLDBARHED



Figur 16: Overfladerne af blok 5.F.



Figur 17: Overfladerne af blok 5.G.



Figur 18: Overfladerne af blok 5.H.

..



DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg

BYG R-437, 2020

ISBN: 8778775361

Institut for Byggeri og Anlæg, DTU
Brovej, Bygning 118
2800 Kgs. Lyngby

www.byg.dtu.dk
Tlf. 4525 1700