

HYDROFOBERANDE MEDEL I SPRUTBETONG

Inverkan på egenskaper och beteendet vid sprutning



Elisabeth Helsing, Lisa Parg, Urs Mueller, Tommy Ellison

2017-05-30

FÖRORD

Denna rapport behandlar inverkan av hydrofoberingsmedel som tillsätts betongblandningen på sprutbetongens egenskaper dels i det tidiga stadiet, då de är avgörande för den praktiska tillämpningen, och dels på hållfasthetsutveckling, vidhäftning och hydrofobicitet. Provsprutning med och utan hydrofoberingsmedel har också genomförts.

Arbetsgruppen i projektet har bestått av Elisabeth Helsing (RISE CBI, huvudförfattare), Lisa Parg (tidigare RISE CBI), Urs Mueller (RISE CBI) och Tommy Ellison (BESAB). Provsprutning har genomförts på Vattenfall Utvecklings laboratorium (VUC) i Älvkarleby av personal från BESAB med assistans av Ilias Outras (RISE CBI) och personal från VUC. De flesta övriga provningarna har genomförts på CBI. Vi tackar VUC för hjälp med provsprutningen och Borås Högskola för möjlighet att mäta kontaktvinklar. Projektet har finansierats av SBUF, BESAB och RISE CBI Betonginstitutet AB.

Borås maj 2017.

SAMMANFATTNING

Det övergripande målet med projektet är att få fördjupade kunskaper och erfarenheter när det gäller användning av hydrofoberande medel som tillsätts betongmassan i sprutbetong med lågalkaliska bindemedel, med syfte att förbättra sprutbetongens beständighet och brukbarhet. Resultaten från detta projekt bidrar till ökad förståelse för praktiska möjligheter med och begränsningar för hydrofoberande medel som tillsätts betongmassan i sprutbetong, och därmed minskar behovet av kostsamma fältförsök, med ”trial and error”.

En stor del av projektet har ägnats åt att studera inverkan av hydrofoberingsmedlen på egenskaperna i det tidiga stadiet, då de är avgörande för den praktiska tillämpningen. Därutöver har inverkan på egenskaper som hållfasthetsutveckling och vidhäftningshållfasthet mätts. Vilken hydrofobicitet som dessa medel ger betongen har också undersökts. Dessa provningar har främst gjorts på pasta, bruk eller betong som gjutits på konventionellt sätt, alltså inte på sprutbetong. Därutöver har provsprutning gjorts med ett av medlen samt en referens utan hydrofoberingsmedel för att kartlägga beteendet vid sprutning. På prover av den sprutade betongen har vidhäftningshållfastheten, hydrofobiciteten och kloridinträngningen bestämts.

Två hydrofoberande medel, Sitren P 750 (E) och Silres BS 1001 (W) har använts, båda baserade på organosilikater. Medel E grundar sig på modifierad siloxan som är anbringad på silikastoft och medel W är en vattenbaserad emulsion av silan/siloxan. De flesta provningarna har utförts dels med ett rent Portlandcement (Degerhamns anläggningscement från CEMENTA) och dels ett Portland-flygaskecement (Slite Anläggning FA från CEMENTA). Båda är sulfatresistenta och lågalkaliska. Provningar med och utan accelerator har utförts.

Använda utan accelerator påverkade medel W bindetid och värmeutveckling i betydligt högre grad än medel E. Medel W hade en klart retarderande effekt. Denna effekt kunde dock i hög grad kompenseras genom tillsats av en accelerator. 28-dygns hållfastheten sänktes med båda hydrofoberingsmedlen, mest med medel W, men även i detta fall komplementerades denna effekt till viss del av acceleratoren. Acceleratoren hade inte samma avgörande effekt när medel E användes.

Vid provning på gjuten betong var vidhäftningen bättre och mindre spretig (mindre standardavvikelse) med medel W än med medel E. Hydrofobiciteten hos blandningar med de båda medlen var jämförbar.

Provprutningen genomfördes med medel W och accelerator. Med hydrofoberingsmedel erhöles samma konsistens med mindre mängd vatten. Beteendet vid sprutning med medel W var lika bra som eller något bättre än utan. Hydrofoberingsmedlet påverkade inte sprutbetongens vidhäftning. Vattenabsorptionen hos sprutbetongen med hydrofoberingsmedel var c:a 30 % lägre än utan sådant medel, och motståndet mot kloridinträngning ungefär 40 % bättre.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	6
1.1	SYFTE MED PROJEKTET	6
1.2	BAKGRUND	6
1.3	ÖVERSIKTLIGT UPPLÄGG AV PROJEKTET	7
2	MATERIAL, SAMMANSÄTTNINGAR OCH PROVKROPPSTILLVERKNING	9
2.1	DELMATERIAL	9
2.2	SAMMANSÄTTNINGAR	10
3	PROVNINGSMETODER	12
3.1	TIDIG FASUTVECKLING MED IN SITU RÖNTGENDIFFRAKTION (XRD).....	12
3.2	TERMOGRAVIMETRISK ANALYS (TGA).....	12
3.3	BINDETID MED AUTOMATISERAD VICAT METOD	12
3.4	VÄRMEUTVECKLING MED ISOTERM KALORIMETRI.....	12
3.5	HÅLLFASTHETSUTVECKLING, 3 – 24 TIMMAR, HOS BRUK.....	13
3.6	HÅLLFASTHETSUTVECKLING, 1 – 28 DYGN, HOS BRUK.....	13
3.7	DE HYDROFOBERANDE MEDLENS FUNKTION.....	13
3.8	TOTAL KRYMPNING OCH AUTOGEN KRYMPNING (SJÄLVUTTORKNINGS-KRYMPNING)	14
3.9	VIDHÄFTNINGSHÅLLFASTHET	15
4	RESULTAT - HYDROFOBERANDE MEDELS INVERKAN PÅ HYDRATISERINGS- BETEENDET OCH PÅ DEN HÄRDADE BETONGENS EGENSKAPER.	17
4.1	HYDROFOBERANDE MEDLENS INVERKAN PÅ HYDRATISERINGSBETEENDET I TIDIG ÅLDER	17
4.2	HYDROFOBERANDE MEDLENS INVERKAN PÅ DEN HÄRDNANDE ELLER DEN HÄRDADE BETONGENS EGENSKAPER	29
4.3	SAMMANFATTNING AV RESULTAT GÄLLANDE HYDROFOBERANDE MEDELS INVERKAN PÅ HYDRATISERINGSFÖRLOPPET	36
4.4	INVERKAN AV CEMENTTYP OCH ACCELERATOR I ÖVRIGT	36
4.5	VAL AV LÄMPLIG SAMMANSÄTTNING OCH MEDEL ATT PROVA VID PROVSPRUTNING	37
5	RESULTAT - HYDROFOBERANDE MEDLENS INVERKAN PÅ BETEENDET VID SPRUTNING OCH SPRUTBETONGENS EGENSKAPER	37
6	SLUTSATSER	39
	LITTERATURFÖRTECKNING - ARTIKLAR OCH RAPPORTER	39
	LITTERATURFÖRTECKNING - STANDARDER	41
	Bilaga A: Normaliserad fasutveckling, bindetid och värmeutveckling	
	Bilaga B: Mätresultat – Tryckhållfasthet, bruk	
	Bilaga C: Mätresultat – Kontaktvinkel, bruk	
	Bilaga D: Mätresultat – Vidhäftningshållfasthet, utdragsprov, betong	
	Bilaga E: Bilder från provsprutning	
	Bilaga F: Mätresultat – Vidhäftningshållfasthet, sprutbetong	

Bilaga G: Mätresultat – Kontaktvinkel, sprutbetong

Bilaga H: Mätresultat – Kloridinträngning, sprutbetong

1 INLEDNING

1.1 Syfte med projektet

Det övergripande målet med projektet är att få fördjupade kunskaper och erfarenheter när det gäller användning av hydrofoberande medel som tillsätts betongmassan i sprutbetong med lågalkaliska rena och sammansatta portlandcement (med flygaska) med syfte att förbättra betongens beständighet och brukbarhet.

Resultaten från detta projekt ska ge ökade kunskaper om hydrofoberande medel som tillsätts betongmassan i sprutbetong. Störst fokus läggs på sprutbetongens egenskaper i det tidiga stadiet då de är avgörande för den praktiska tillämpningen. Detta anses ha stor betydelse för valet av rätt typ av hydrofoberande medel som tillsätts betongmassa för sprutbetong (Johansson, et al., 2008). Beständighetsrelaterade frågor som frostbeständighet och kloridtransport har studerats i tidigare SBUF-projekt genomförda av BESAB och CBI (Selander, et al., 2014).

Avsikten är att resultaten från detta projekt ska bidra till ökad förståelse för praktiska möjligheter med och begränsningar för hydrofoberande medel som tillsätts betongmassa för sprutbetong. Detta bidrar till att minska behovet av kostsamma försök, med ”trial and error”, i fält.

1.2 Bakgrund

Sprutbetong har ett brett användningsområde för underjordskonstruktioner. Dock är sprutbetong hårdare utsatt än standardbetong till följd av den omgivande miljön och sprutbetongens ibland något porösare struktur. I vägtunnlar är sprutbetong särskilt utsatt. Exponeringen för CO₂ är hög vilket medför ökade risker för karbonatisering, låga temperaturer och användning av avisningssalter ger risk för frostsador och mjukt vatten kan orsaka urlakning av kalcium i betongen.

Skador på sprutbetong i väg- eller tågtunnlar genererar årligen betydande kostnader för samhället. Dessa kostnader härrör inte bara från inspektioner, skadeutredningar och reparationer utan även trafikstörningar när åtgärderna vidtas och ökade kostnader för att utföra åtgärderna under svåra förhållanden.

Åtgärder eller strategier för att förlänga reparationsintervallen i väg- eller tågtunnlar kan på ett avgörande sätt bidra till att minska kostnaderna för samhället. Dessutom upprätthålls tunnlaras funktion; att tillgodose framkomlighet för dagens och morgondagens trafikflöden i vår infrastruktur. Metoder för att öka sprutbetongens beständighet kan bestå av att göra den vattenavvisande. En vattenavvisande betong sänker fukthalten och minskar fukttransporten genom betongen. Detta resulterar i bättre skydd mot frostsador och kloridinträngning (da Silva, et al., 2015) samt lägre grad av karbonatisering i betongen (Mattila, 2005). Fallstudier visar på att underhållskostnaderna kan reduceras avsevärt på detta sätt (During & Malaga, 2014).

Vattenavvisande egenskaper hos betong kan uppnås genom behandling med hydrofoberande medel. De flesta hydrofoberande medel avsedda för betongytor är baserade på alkyltrialkoxysilaner, exempelvis triethoxysilaner med grupper av n-butyl eller n-octyl (Roos, et

al., 2008). Silaner är monomeriska och ger därmed bättre inträngning än de större di- eller polymererna (som siloxaner eller silikonoljor).

Efterbehandlingsmetoder av betongytan genom impregnering bidrar dock i hög grad till ökade byggkostnader och underhållskostnader då de bör upprepas. Ett bättre tillvägagångssätt är att tillsätta det hydrofoberande medlet i betongmassan under blandningsprocessen. Genom ett sådant förfarande får hela betongen hydrofoba egenskaper. Vid användning av sprutbetong, som anbringas i förhållandevis tunna lager på t.ex. en tunnelvägg, kan detta vara mer ekonomiskt fördelaktigt än impregnering av ytskiktet.

Hydrofoberande medel som tillsätts betongen kan, beroende på dosering och typ, markant påverka hydratiseringen av Portland- eller sammansatta Portlandcement. (Milenkovic, et al., 2014) (Falchi, et al., 2015). Effekten kan ibland mildras genom att medlet avsätts på pulver, vanligtvis bestående av amorft SiO_2 eller kalciumkarbonat. De hydrofoberande medlen som tillsätts betongen i pulverform är dock inte lika effektiva som medel i form av flytande emulsioner.

Det finns därför en viss osäkerhet när det gäller verkningsgraden hos hydrofoberande medel som tillsätts betongmassan. Dessutom råder det osäkerhet om det hydrofoberande medlets inverkan på den tidiga bindningen i accelererad sprutbetong.

I praktiken är användning av hydrofoberande medel som tillsätts betongmassan inte så enkelt som det kunde vara, eftersom den vattenavvisande effekten inte kan garanteras utan att tidsödande och kostsamma testsprutningar utförs. En annan försvårande faktor är den ökade användningen av lågalkaliska sammansatta Portlandcement med flygaska och slag (främst CEM II/A-V eller CEM/A-S) i stället för ren lågalkalisk CEM I. Tidigare studier visar på att vissa silaners verkningsgrad kan variera över tid beroende på vilken cementtyp som används (Kargol, et al., 2011), (Kargol, et al., 2013).

Hydratiseringsförloppet hos lågalkaliska sammansatta portlandcement med flygaska eller slag i kombination med hydrofoberande medel som tillsätts betongmassan, med eller utan accelerator, är inte väl känt.

1.3 Översiktligt upplägg av projektet

Projektet har bestått av tre arbetspaket presenterade i 1.3.1 till 1.3.3, vart och ett innehållande provningar av ett antal egenskaper.

1.3.1 Hydrofoberande medels inverkan på hydratiseringsbeteendet i tidig ålder

Hydratiseringsbeteendet hos två lågalkaliska cement, dels ett rent Portlandcement och dels ett Portland-flygaskecement, när hydrofoberande medel tillsätts betongmassan, utan och med accelerator har studerats. I detta har ingått provningar av:

- Fasutveckling under det första dygnet, mätt med XRD och TGA
- Värmeutveckling
- Bindningstid, initial och slutlig

-
- Hållfasthetsutveckling 1 – 24 timmar

Alla dessa provningar har utförts på pasta eller bruk.

Denna del av projektet är till största delen genomförd som ett examensarbete (Parg, 2016). I examensarbetet beskrivs bakgrund, försöksmetoder och resultat som gäller detta arbetspaket mer ingående än i denna SBUF-rapport.

1.3.2 Hydrofoberande medels inverkan på den härdnande eller den härdade betongens egenskaper

Dessa provningar utfördes på bruk eller betong (inte sprutbetong) för att studera effekten av de hydrofoberande medlen på härdande eller härdade bruk/betongs egenskaper.

Provade egenskaper:

- Hållfasthetsutveckling 0 – 28 dygn
- Vidhäftningshållfasthet
- Krympning, total och autogen
- Kontaktvinkelmätning
- Vattenabsorption

1.3.3 Hydrofoberande medels inverkan på beteendet vid sprutning och sprutbetongens egenskaper

Praktiska sprutningsförsök med sprutbetong har utförts, vilka varit inriktade på att studera inverkan av hydrofoberande medel på beteendet vid sprutning och vissa egenskaper hos den sprutade betongen. Provsprutning skulle genomföras med det hydrofoberingsmedel som i de förgående försöken visade sig ha bäst potential att ge en sprutbetong med bra egenskaper, både när det gäller själva sprutningen och hydrofobiciteten hos slutprodukten.

Sprutningen genomfördes i Vattenfall Utvecklings (VUC) laboratorium i Älvkarleby av personal från BESAB.

På de sprutade provkropparna gjordes mätningar av följande egenskaper

- Vidhäftningshållfasthet
- Kontaktvinkel
- Vattenabsorption
- Kloridtransportkoefficient

2 MATERIAL, SAMMANSÄTTNINGAR OCH PROVKROPPSTILLVERKNING

2.1 Delmaterial

Cement:

Två olika cement har använts. Cementen tillhör samma hållfasthetsklass (42,5 N) och har hög sulfatresistens, låg alkalihalt och moderat värmeutveckling. Det ena är ett rent Portlandcement (Degerhamns anläggningscement från Cementa) och det andra är ett Portland-flygaskecement (Slite Anläggning FA från Cementa). Egenskaperna framgår av Tabell 1.

TABELL 1: CEMENTENS EGENSKAPER

(Förkortning)	Degerhamn Anläggning (CA)	Slite Anläggning FA (VA)
Cementtyp enl SS-EN 197-1⁽¹⁾	Portlandcement CEM I 42,5 N-SR3/LA /MH	Portland flygaske cement CEM II/ A-V 42,5 NSR /LA/MH
Hållfasthetsklass [N/mm²]	42,5	42,5
Kompaktdensitet [kg/m³]	3200	2860
Blaine finhet [m²/kg]	310	350
Bulkdensitet [kg/m³]	1250	1250
SO₃ innehåll [%]	2,3 - 2,5	2,42
C₃A innehåll [%]	1,5 - 2,5	< 2,5
Alkalihalt (ekv. Na₂O) [%]	0,4 - 0,55	0,2
⁽¹⁾ LA enligt SS 134203 , MH enligt SS 134202 och NSR enligt SS 134204		

Silikastoft: Silica fume U972 från Elkem som uppfyller SS-EN 13263-1.

Användes endast i betonger och sprutbetonger.

Hydrofoberande medel:

Två hydrofoberande medel, Sitren P 750 (E) och Silres BS 1001 (W), har använts, båda baserade på organosilikater. Sitren P 750 grundar sig på modifierad siloxan som är anbringad på silikastoft och Silres BS 1001 är en vattenbaserad emulsion av silan/siloxan.

De hydrofoberande medlen analyserades med FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy). Medlen har snarlika kurvor, vilket indikerar likande komponenter och sammansättning. Kurvorna för de båda medlen har jämförts med kurvor i en databas och Sitren P750 (E) liknar

mest en för en blandning av polysiloxaner medan Silres BS 1001 (W) bäst matchar dimethylsiloxan.

Accelererande tillsatsmedel (A):

Acceleratorn, Sigunit L-2712 AF, är en alkalifri lösning som ofta används i tunnlar.

Vattenreducerande flyttillsatsmedel (SP):

Sika ViscoCrete 3082, användes i betong för provning av vidhäftning

2.2 Sammansättningar

2.2.1 Cementpasta och bruk

Beroende på avsedd provningsmetod tillverkades pasta eller bruk med $v_{ct}=0,45$. Vattenhalten i de hydrofoberande medel och acceleratoren har beaktats vid framtagande av blandningsrecept. Bruk tillverkades enligt SS-EN 196-1, med normsand. Cementmängd enligt SS-EN 196-1 ersattes med bindemedelsmängd. Sammansättningen på blandningarna ges i tabell 3.

TABELL 2: SAMMANSÄTTNING PÅ PASTOR OCH BRUK

Blandning	vct	Sitren P750 (E) [vikts- % av cement]	Silres BS 1001 (W) [vikts- % av cement]	Sigunit L-2712 AF (A) [vikts- % av cement]
CA + E	0,45	3	-	-
VA + E	0,45	3	-	-
CA + W	0,45	-	3	-
VA + W	0,45	-	3	-
CA + E+A	0,45	3	-	5
VA + E+A	0,45	3	-	5
CA + W+A	0,45	-	3	5
VA + W+A	0,45	-	3	5

2.2.2 Betong för provning av vidhäftningshållfasthet

För provning av vidhäftningshållfasthet tillverkades tre betongblandningar med sammansättningar enligt Tabell 3.

TABELL 3: BETONGSAMMANSÄTTNINGAR

Material	Typ	Blandning		
		BCA-A	BCA-E-A	BCA-W-A
Cement [kg/m ³]	CA	470		
Silikastoft [kg/m ³]	U972	23,5		
Naturgrus 0/8 [kg/m ³]		1550		
Vattenreducerare [vikts-% av cement]	SP	2		
Accelerator [vikts-% av cement]	A	4		
vct		0,47		
vbt		0,45		
Hydrofoberande medel [vikts-% av cement]	E	-	3	-
	W	-	-	3

2.2.3 Sprutbetong i sprutförsök

Grundrecept för sprutbetongen:

Cement (CA)	480 kg/m ³
Flygaska	25 kg/m ³
Naturgrus 0-8 mm, FM=3	1612 kg/m ³
Vatten	194 kg/m ³
Superplasticerare	0,7 % på cementmängden
Accelerator	
vct	0,405
vbt	0,345

För betongen utan hydrofoberande medel gav detta ett sättmått på 23 cm.

I betongen med hydrofoberande medel tillsattes 2% beräknat på cementmängden av hydrofoberingsmedel W. I denna blandning sänktes vattenmängden till 170 kg/m³, vilket innebär ett vct på 0,355 och ett vbt på 0,337. Denna blandning hade ett sättmått på 22 cm.

3 PROVNINGSMETODER

3.1 Tidig fasutveckling med in situ röntgendiffraktion (XRD)

Utvecklingen av de olika cementhydraten studerades med in-situ röntgendiffraktion, d.v.s. i ett pastaprov som blandas i en kväveatmosfär och placeras i en tät provhållare i XRD. Fassettsammansättningen i provet registreras sedan efter 0,5 och 2 timmar och därefter varannan timma upp till 24 timmar. Metoden användes på samtliga sammansättningar enligt Tabell 2 och dessutom på pastor med enbart cement och accelerator, CA+A och VA+A.

3.2 Termogravimetrisk analys (TGA)

Den termogravimetriska analysen genomfördes på pastaprover som härdat 4, 7 respektive 24 timmar. När provet härdat avsett antal timmar lades det i den organiska lösningen isopropanol för att stoppa fortsatt hydratisering. Det låg i denna lösning i sammanlagt 24 timmar, och lösningen byttes två gånger under denna tid. Därefter torkades provet i vakuum vid 35 – 40 ° C. Enbart sammansättningar med cementtyp CA analyserades.

Den termogravimetriska analysen (TGA) utfördes med en Mettler Toledo TGA/DSC 3+ termisk analysator. Cirka 50 mg malet pulver vägdes upp i en 70 µl aluminiumdegel och sattes in i apparaten för TG-analysen. N₂ med extra hög renhet användes som reningsgas vid alla mätningar. Temperaturen ökades från 20 °C till 1000 °C med hastigheten 10°C per minut, varefter proverna kylades till rumstemperatur igen. TGA-resultaten normaliserades som massfraktion glödförlust i förhållande till provets ursprungsvikt.

3.3 Bindetid med automatiserad Vicat metod

Bindetiden bestämdes enligt SS-EN 196-3, dock med avvikelserna att vet hölls konstant, vilket gjorde att konsistensen inte överensstämde med kraven i standarden. Mätningarna pågick upp till 16 timmar. En automatisk Vicat-apparat användes för mätningen. Alla blandningar i Tabell 2 provades.

3.4 Värmeutveckling med isoterm kalorimetri

Värmeutvecklingen hos de olika blandningarna (cementpasta) bestämdes med en TAM Air isotermisk kalorimeter. Den mäter värmskillnaden mellan provet och ett referensprov med vatten, som hålls vid 20°C. Resultaten visas som värmeflödet över tiden och total värmeutveckling. Alla blandningar i Tabell 2 har mätts under 7 dygn. I tillägg till dessa blandningar mättes värmeutvecklingen hos CA-A och VA-A, för att klargöra accelerators inverkan utan hydrofoberande medel.

3.5 Hållfasthetsutveckling, 3 – 24 timmar, hos bruk

Hållfasthetsutveckling i tidsintervallet 3 till 24 timmar utfördes endast på bruk med bindemedelssammansättningarna CA-A, CA-E-A och CA-W-A. Prover tillverkades enligt SS-EN 196-1, med cementmängd ersatt med bindemedelsmängd. Efter gjutning lagrades formarna med bruksprismorna i en klimatkammare med minst 90% relativ fuktighet och 20 °C fram till avformning och provning vid respektive ålder.

Mätningen utfördes med ett Instron universalinstrument.

3-6 provkroppar (halva prismor) provades efter 3, 7 och 24 timmar.

3.6 Hållfasthetsutveckling, 1 – 28 dygn, hos bruk

Hållfastheten från 1 dygn upp till 28 dygn hos bruk bestämdes enligt SS-EN196-1, med cement utbytt mot bindemedelssammansättningarna i Tabell 2 och lagring i kranvatten utbytt mot lagring i mättad kalciumhydroxidlösning. Hållfastheten bestämdes efter 1, 2, 7 och 28 dygn. 6 halvprismor provades vid varje tidpunkt.

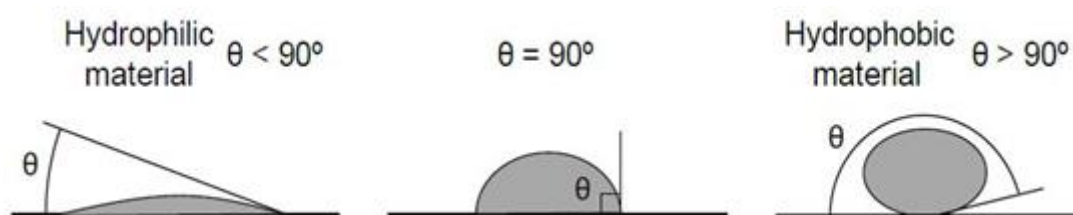
3.7 De hydrofoberande medlens funktion

3.7.1 Kontaktvinkel vatten - provyta

Kontaktvinkeln för vatten mäts mikroskopiskt för att karakterisera ytans vattenavstötande förmåga.

Kontaktvinkeln är tangenten hos en vätskedroppe vid dess bas mot en fast yta

En yta definieras som hydrofil om kontaktvinkeln θ är mindre än 90° och som hydrofob om θ är större än 90° (Selander, et al., 2014).



FIGUR 1: DEFINITION AV HYDROFILA OCH HYDROFOBA YTAR. BILD FRÅN SELANDER ET.AL., 2014.

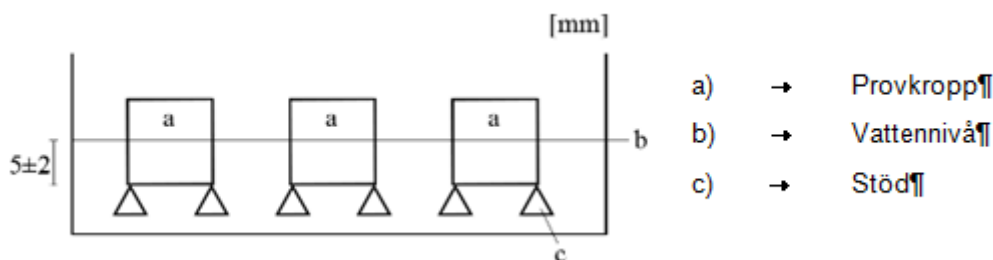
Mätningen utfördes på bruksprover som härdats 28 dygn vid 20°C och 65 % RF. Provkropparna hade cylindrisk form med diametern 6 cm och höjden 2 cm. Tre prover tillverkades av varje sammansättning i Tabell 2 på vilka vattendroppar mättes. Mätningen utfördes när provkropparna härdats i 36 dygn. För att mäta på en så jämn yta som möjligt användes en formyta.

Mätningen utfördes också på en sågad yta hos cylindriska provkroppar med samma dimensioner som bruksproverna från cylindrar som borrades ur de provsprutade plattorna och sågades (ålder lagring m.m. se 3.9.2).

Vattendroppen anbringades på ytan med en doseringsnål med specificerad volym, 3 μl ., Vattendroppens utseende registrerades med ett horisontalställt mikroskop med en videokamera. Innan kontakvinkeln bestämdes måste baslinjen markeras på provets yta. Värdet för varje mätpunkt bestämdes 4 sekunder efter att droppen blivit stabil. Droppen mättes från fem punkter, en placerad rakt över och i mitten av provet och fyra jämnt fördelade längs provets perimeter. Bilderna av droppen bearbetades digitalt. Samtliga mätresultat redovisas i bilaga C.

3.7.2 Vattenabsorptionskoefficienten

Vattenabsorptionskoefficienten bestämdes enligt SS-EN ISO 15148, med en avvikelse när det gäller storleken på den yta som skulle ha kontakt med vattnet, ”sugytan”. Proverna förseglades på samtliga ytor utom sugytan. Vikten registrerades före start och efter 20 min., 40 min., 1 h, 2 h, 4 h, 7 h, 24 h, 48 h och 7 dagar. Proverna var nedsänkta i kranvatten och tre provkroppar per blandning provades, se Figur 2.

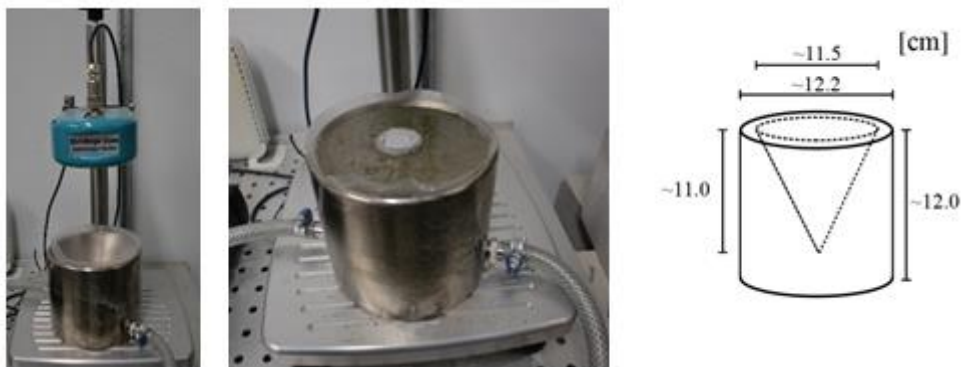


FIGUR 2: FÖRSÖKSUPSTÄLLNING FÖR PROVNING AV VATTENABSORPTIONSKOEFFICIENT.

Mätningen utfördes dels på samma bruksprover som kontakvinkelmätningen och dels på prover borrade ur sprutbetong från sprutförsöken (ålder, lagring m.m. se 3.9.2)

3.8 Total krympning och autogen krympning (självuttorkningskrympning)

I denna studie mättes både total krympning och autogen krympning i en krympkon på bruk. Med en laserstråle mättes avståndsändringen mellan provets yta och en fixpunkt. Provbehållaren var en dubbelväggig behållare med ett konformat utrymme för provet. Under mätningen kylde provet med vatten med omgivningens temperatur, för att transportera bort hydratiseringsvärmets. När den autogena krympningen bestämdes täcktes provytan med en plastfilm medan överytan inte var täckt vid registrering av total krympning. Försökssupställningen och provbehållaren visas i Figur 3.



FIGUR 3: FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING FÖR BESTÄMNING AV KRYMPNING.

3.9 Vidhäftningshållfasthet

3.9.1 Hos pågjutning av betong

Vidhäftningshållfastheten hos pågjuten betong med och utan hydrofoberande medel bestämdes som utdragsprov enligt SS-EN 1542. Underlaget för pågjutningen utgjordes av en betongplatta av kvalitet MC 0,4 enligt SS-EN 1766. Se Figur 4.



FIGUR 4: FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING FÖR UTDRAGSPROV

Två plattor med pågjutning av betongerna BCA, BCA-E-A och BCA-W-A tillverkades ur vilka det togs 5 prov från vardera platta.

3.9.2 Hos sprutbetong

I formen fästes en betongplatta i botten (se bilaga E) före sprutning. Vidhäftningshållfastheten mellan sprutbetong och betongplatta bestämdes enligt SS-EN 14488-4, d.v.s. genom direkt dragning i en Instron dragprovningssmaskin.

För provningen borrades prover med diameterna 70 mm ur de sprutade plattorna vilka lagrats inomhus laboratorieatmosfär i ca 135 dagar. Dessa sågades till en längd av 140 mm där betongplattan i botten ingick.

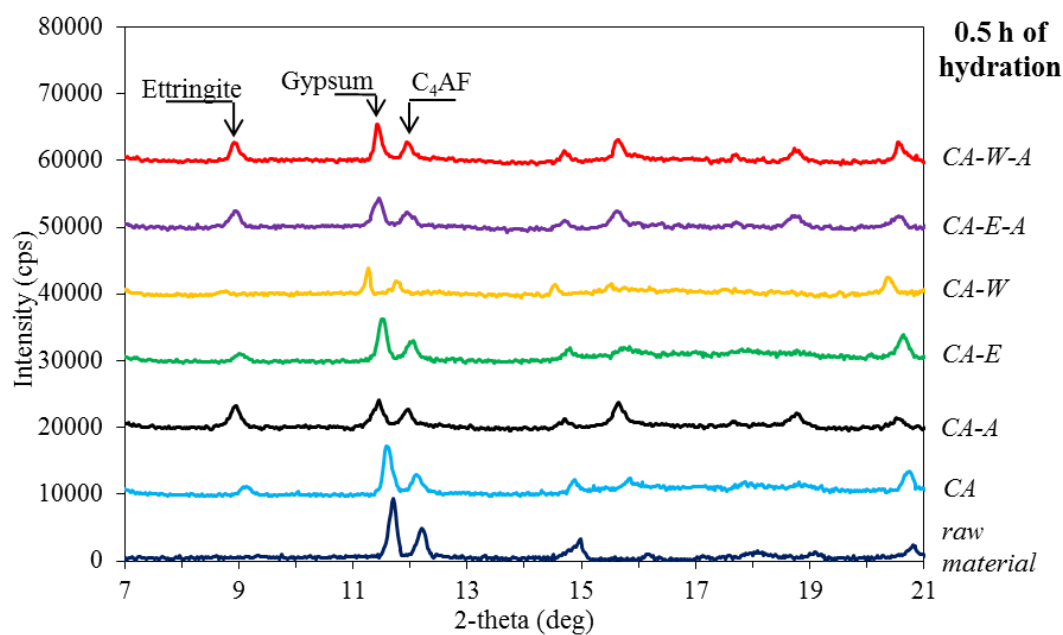
4 RESULTAT - HYDROFOBERANDE MEDELS INVERKAN PÅ HYDRATISERINGS-BETEENDET OCH PÅ DEN HÄRDADE BETONGENS EGENSKAPER.

I detta avsnitt presenteras resultaten från de första två arbetspaketen. Dessa utmynnar i ett val av lämplig sammansättning och medel att prova vid provsprutningen i det tredje arbetspaketet.

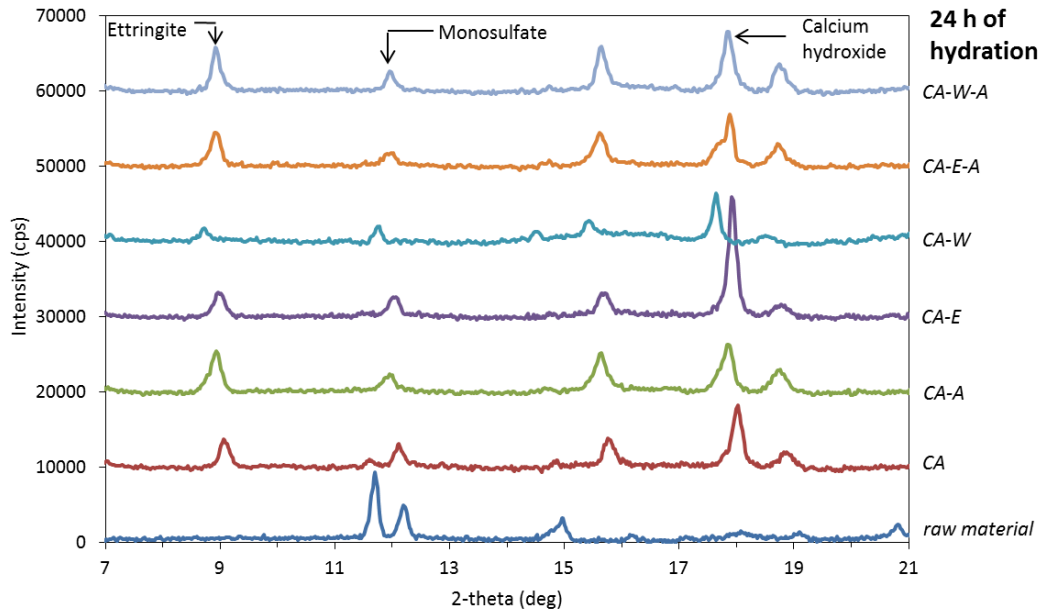
4.1 Hydrofoberande medlens inverkan på hydratiseringsbeteendet i tidig ålder

4.1.1 In-Situ XRD

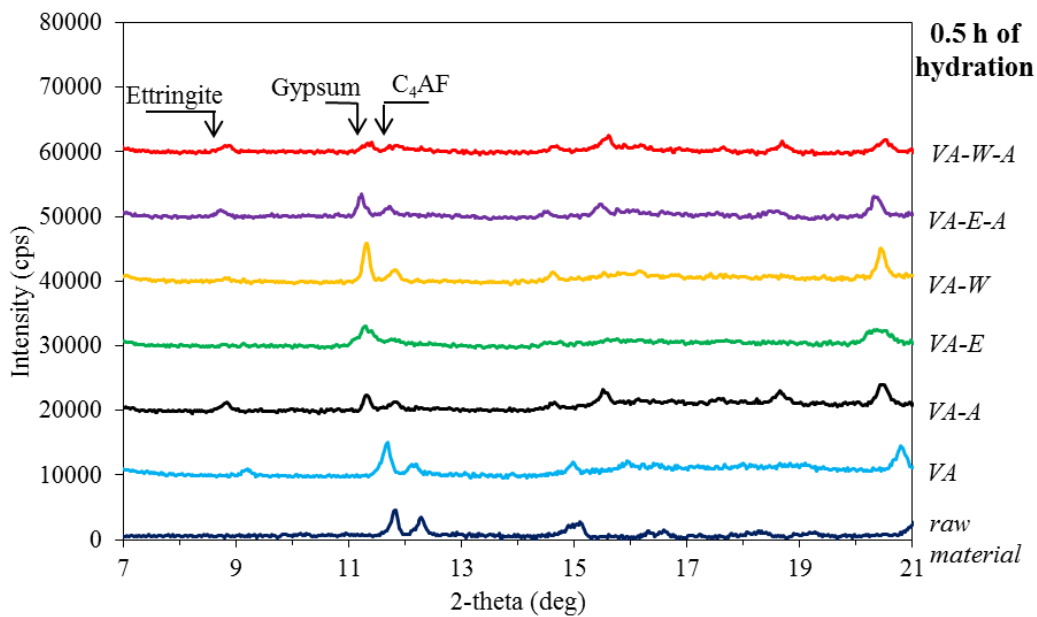
Resultaten från XRD-analysen visas som diffraktogram, där förekomst av olika faser syns som pika. Figur 5 visar diffraktogrammen för CA-blandningarna efter en halv timmes hydratisering och i Figur 6 efter 24 timmars hydratisering för samma blandningar. För VA-blandningarna ges motsvarande diffraktogram i Figur 7 och Figur 8. I dessa figurer är de pika som är av intresse att studera under de första 24 timmarna markerade. Samtliga framtagna diffraktogram är redovisade i (Parg, 2016).



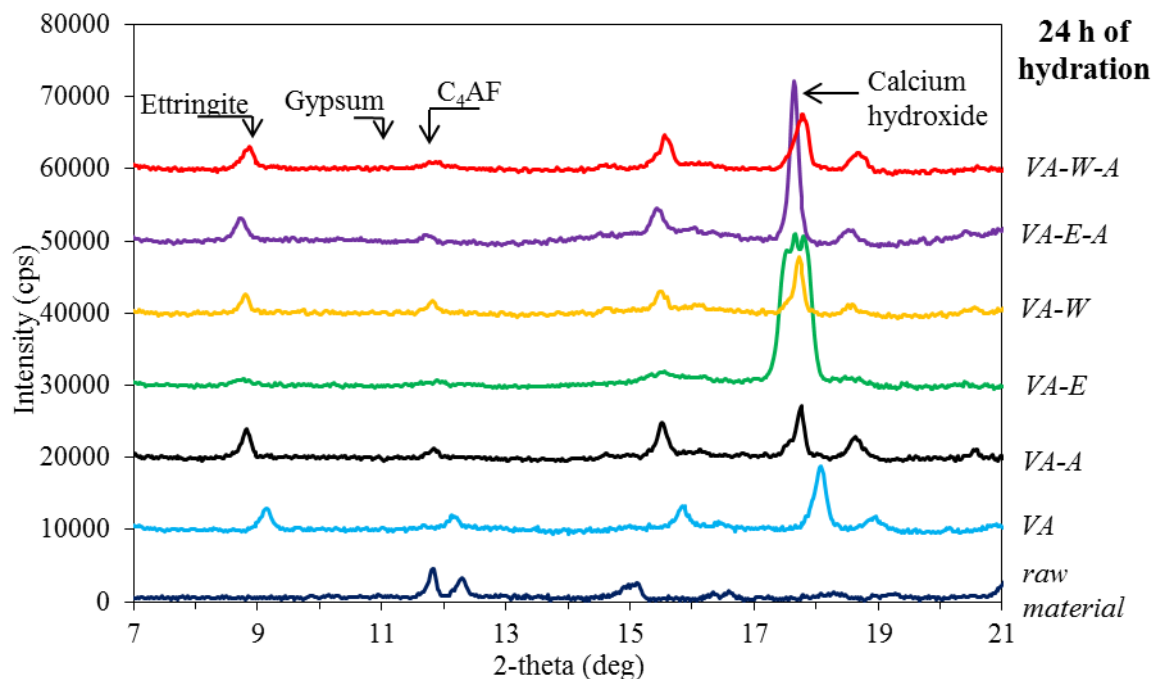
FIGUR 5: DIFFRAKTOGRAM FÖR SAMTLIGA CA-BLANDNINGAR EFTER 0,5 TIMMES HYDRATISERING



FIGUR 6: DIFFRAKTOGRAM EFTER 24 TIMMARS HYDRATISERING FÖR PROVERNA MED CA-CEMENT (FÖR CA-E-A VISAS DIFFRAKTOGRAMMET EFTER 17,5 TIMMARS HYDRATISERING).

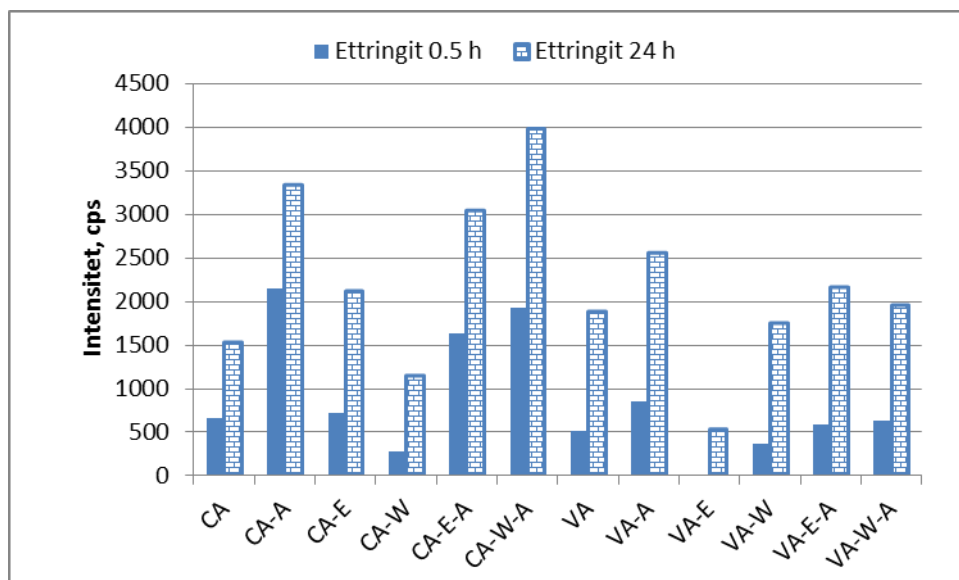


FIGUR 7: DIFFRAKTOGRAM EFTER 0,5 TIMMARS HYDRATISERING FÖR PROVERNA MED VA-CEMENT.



FIGUR 8:DIFFRAKTOGRAM EFTER 24 TIMMARS HYDRATIERING FÖR PROVERNA MED VA-CEMENT.

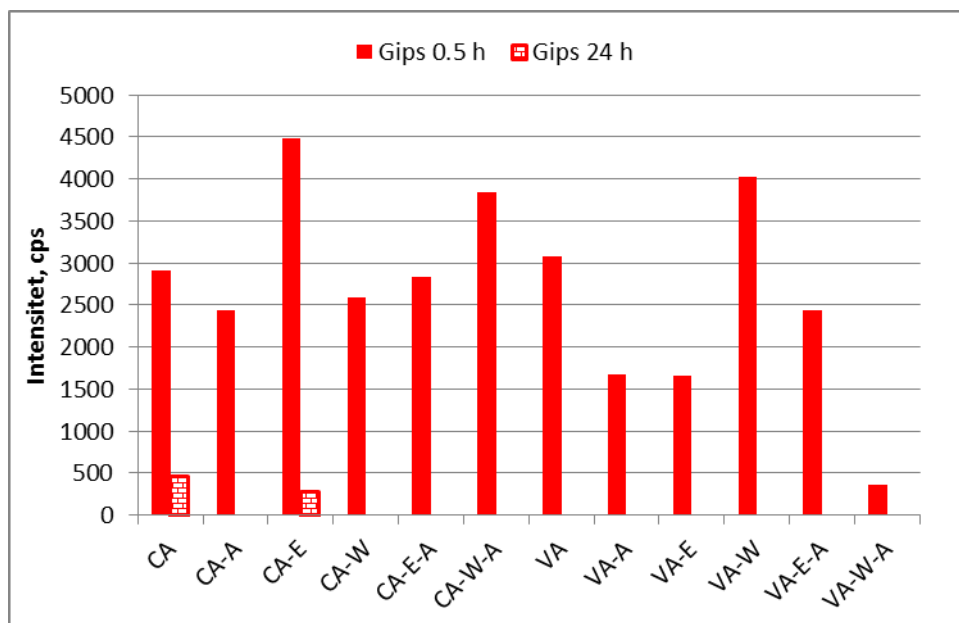
I Figur 9 till Figur 11 redovisas mängden ettringit, gips respektive kalciumhydroxid i samtliga blandningar efter 0,5 och 24 timmars hydratisering, i form av den uppmätta densiteten, cps (count per second). Värdena angivna för 24 timmar för CA-E-A i dessa figurer är tagna vid 17,5 timmar p.g.a. fel på mätinstrumentet. Detta torde ha störst betydelse för $Ca(OH)_2$ -värdet som har den mest progressiva utvecklingen vid denna tidpunkt.



FIGUR 9: MÄNGD ETTRINGIT EFTER 0,5 OCH 24 TIMMARS HYDRATISERING FÖR SAMTLIGA BLANDNINGAR.

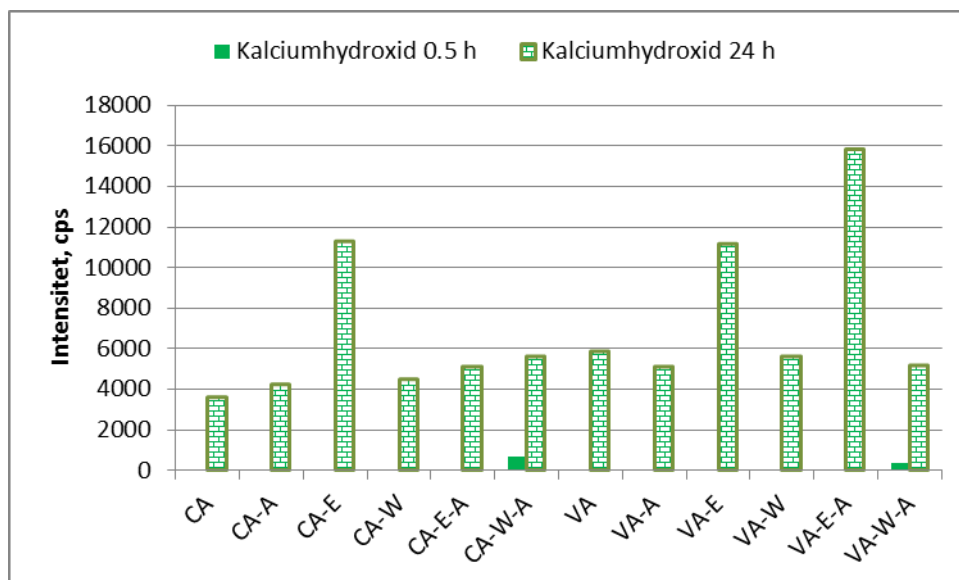
Av Figur 9 framgår att acceleratorn ökar mängden ettringit som bildas i tidigt skede (0,5 och 24 timmar) i kombination med CA-cement med eller utan hydrofoberande medel. Vid användning av

VA-cement är ökningen bara marginell. Inverkan av hydrofoberingsmedlen enbart är inte speciellt stor, utom för kombinationen VA-cement och hydrofoberingsmedel E där ettringitbildningen ser ut att vara helt stoppad vid 0,5 timmar och mycket liten vid 24 timmar.



FIGUR 10: MÄNGD GIPS EFTER 0,5 OCH 24 TIMMARS HYDRATISERING I SAMTLIGA BLANDNINGAR

Några specifika trender för hur cementtyp, accelerator och hydrofoberingsmedlen påverkar mängden gips är svårt att utläsa ur Figur 10. För blandning VA-W-A som har extremt lågt värde är gipsinnehållet efter 1 timma ungefär dubbelt så högt som efter 0,5 timmars härdning.



FIGUR 11: MÄNGD KALCIUMHYDROXID EFTER 0,5 OCH 24 TIMMARS HYDRATISERING FÖR SAMTLIGA BLANDNINGAR. VÄRDE FÖR CA-E-A EFTER 17,5 TIMMARS HYDRATISERING.

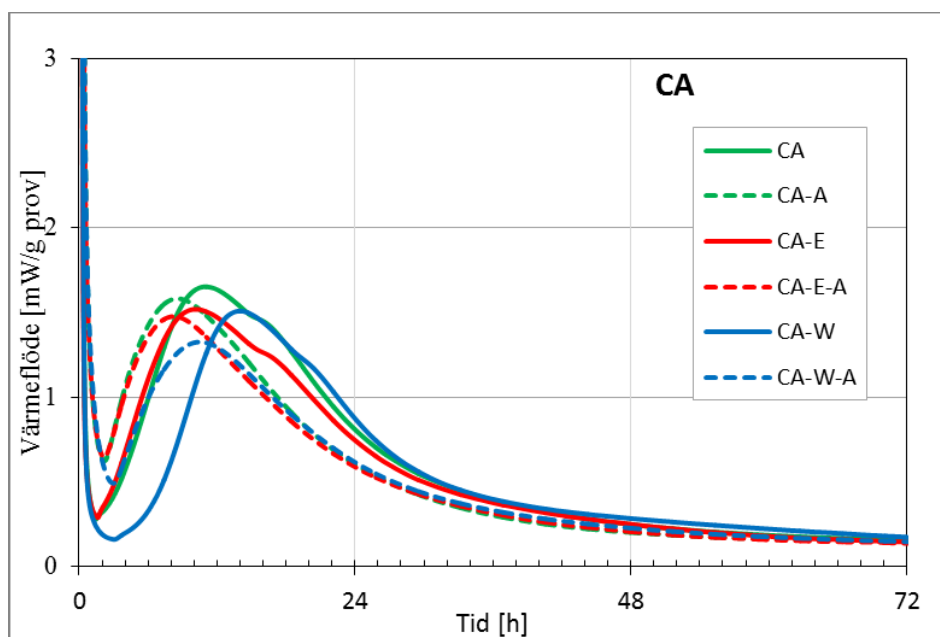
Hydrofoberingsmedel E höjer mängden bildad kalciumhydroxid efter 24 h. Värdet för CA-E-A är taget vid 17,5 timmar och bör vara c:a 10 % högre än vad som visas i figuren efter 24 timmars

hydratisering. I övrigt finns inga större skillnader i kalciumhydroxidhalt mellan blandningar med olika cement eller accelerator eller förekomst eller inte av hydrofoberingsmedel W.

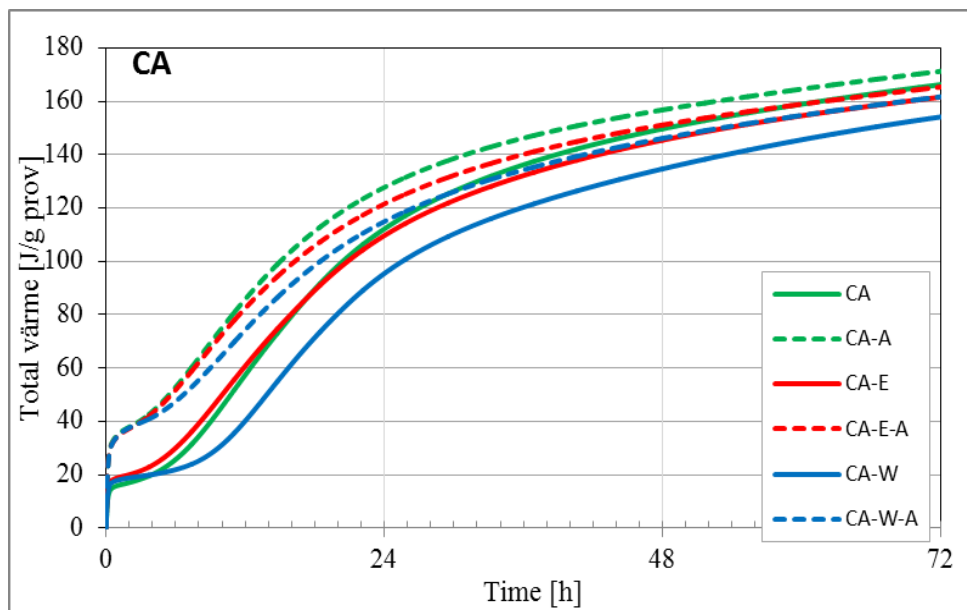
Fasutvecklingen under hela perioden 0 – 24 timmar i relation till värmeutveckling och bindetid behandlas närmare i avsnitt 4.1.4.

4.1.2 Värmeutveckling

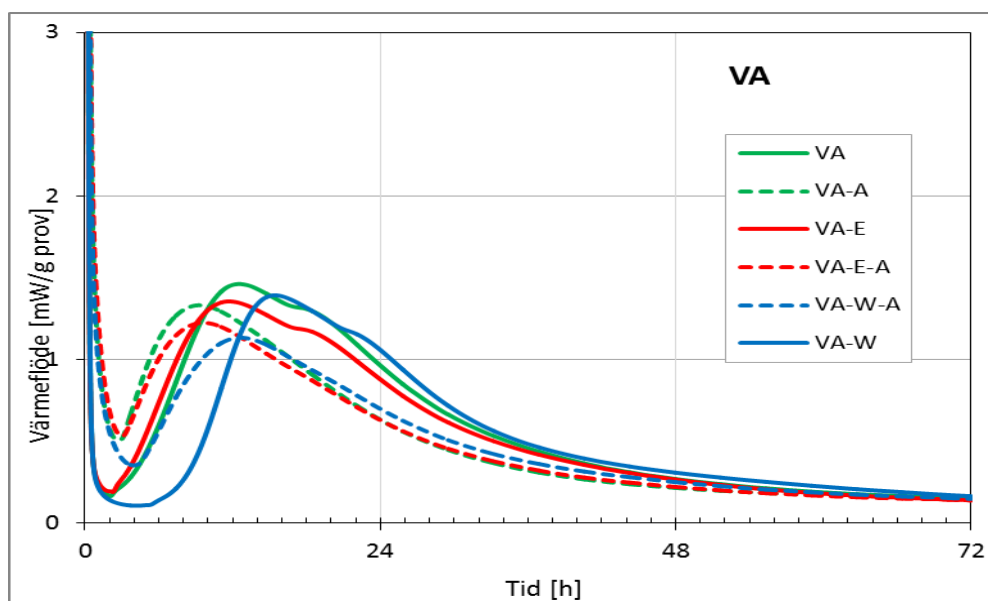
Värmeutvecklingen kan visas som värmeflöde per tidsenhet eller total ackumulerad värmeutveckling. Hur dessa parametrar varierar mellan 0 och 72 timmars ålder visas för cementtyp CA i Figur 12 respektive Figur 13 och för cementtyp VA i Figur 14 respektive Figur 15.



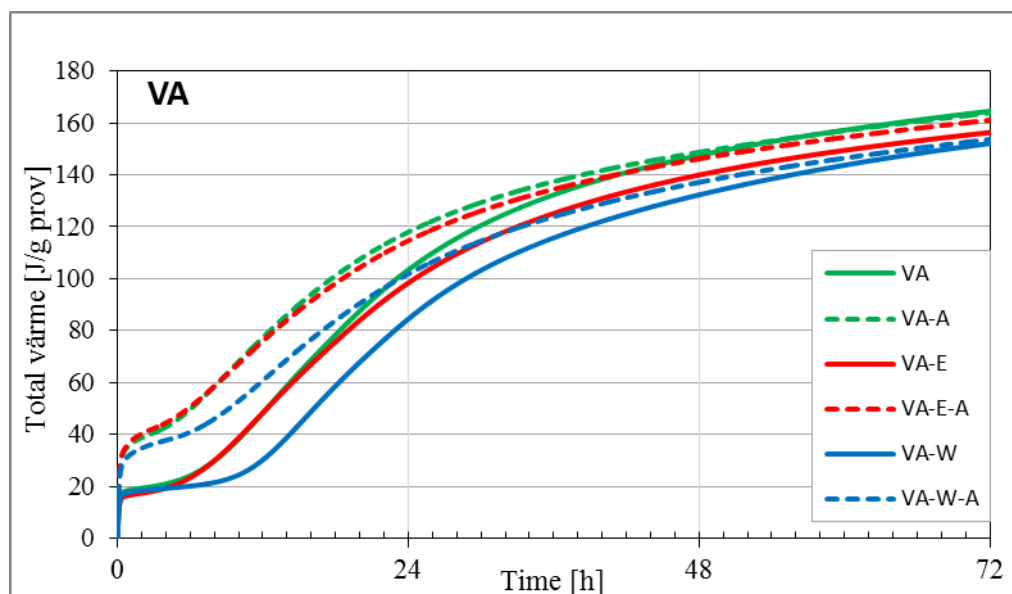
FIGUR 12: VÄRMEFLÖDE I SAMTLIGA BLANDNINGAR MED CEMENTTYP CA



FIGUR 13: TOTAL UTVECKLAD VÄRME I SAMTLIGA BLANDNINGAR MED CEMENTTYP CA



FIGUR 14: VÄRMEFLÖDE I SAMTLIGA BLANDNINGAR MED CEMENTTYP VA



FIGUR 15: TOTAL VÄRMEUTVECKLING I SAMTLIGA BLANDNINGAR MED CEMENTTYP VA

Om man ser på hur de båda hydrofoberande medlen påverkar värmeutvecklingen när ingen accelerator används (heldragna linjer i figurerna) så ser man att E har mycket liten påverkan på värmeutvecklingen medan medel W i hög grad retarderar värmeutvecklingen, både med CA-cement och med VA-cement. Det maxvärde på värmeflödet som erhålls ca 10 timmar efter blandning, inträffar c:a två timmar senare när W används. Med E finns det en liten tendens åt motsatt håll, möjligtvis beroende på att detta medel innehåller silikastoft.

Att acceleratoren är ett medel lämpligt för sprutbetong framgår av att en stor del av accelerationen sker i stort sett direkt efter blandning, eftersom den totala värmeutvecklingen inom den första halvtimmen genomgående är ungefär dubbelt så stor med accelerator som utan. Störst effekt på värmeutvecklingen har acceleratoren på blandningar med medel W, där den retarderande effekten av medel W minskas betydligt när accelerator tillsätts.

I dessa figurer ser man också en förväntad skillnad i värmeutveckling mellan CA-cement och VA-cement. Det senare har en något långsammare värmeutveckling i tidig ålder, orsakad av flygaskan som inte reagerar direkt med vatten på samma sätt som portlandcementklinker utan kräver att det bildats en viss mängd kalciumhydroxid för att den ska reagera.

Värmeutveckling under de första 24 timmarna behandlas närmare i 4.1.4.

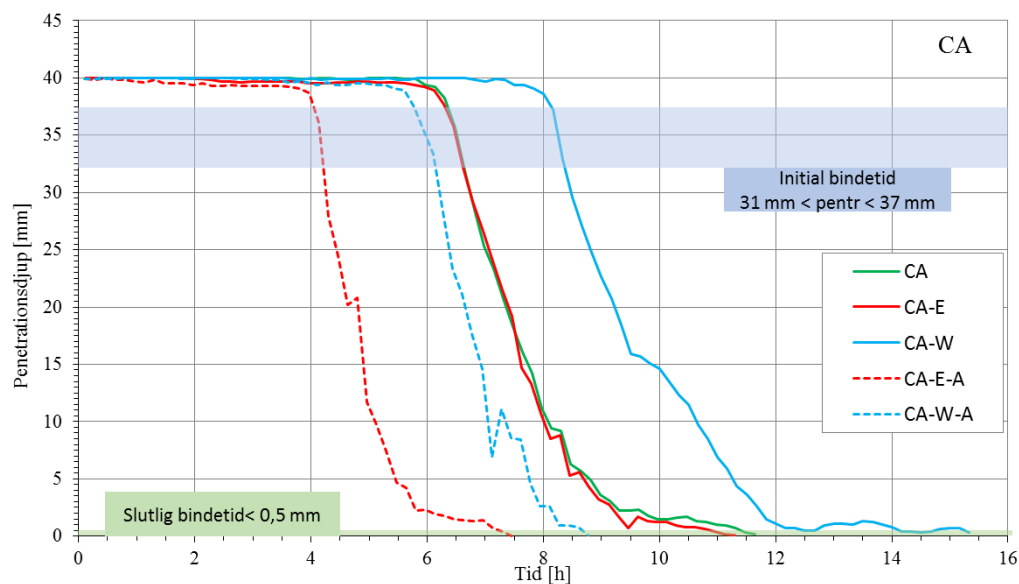
4.1.3 Bindetid, initial och slutlig

Mätt penetrationsdjup under de första 16 timmarna efter blandning visas för blandningar med cement CA i Figur 16 och för blandningarna med cement VA i Figur 17. Initial och slutlig bindetid enligt definitionen i provtagningsstandarden ges även för samtliga blandningar i Tabell 4. När ingen accelerator används förlänger hydrofoberingsmedel W bindetiden, både den initiala och den slutliga, med ca 2 timmar när CA-cement används och med c:a 4 timmar när VA-cement används. Under samma förutsättningar påverkar hydrofoberingsmedel E inte alls bindetiden i kombination med CA-cement och i mycket måttlig grad i kombination med VA-cement.

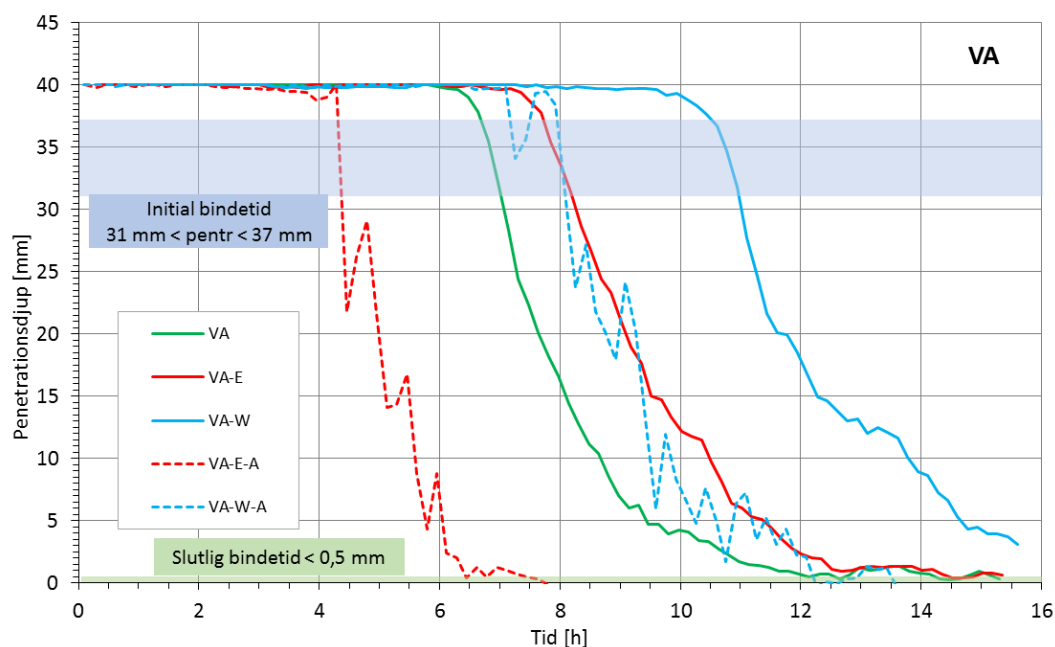
Acceleratoren medför att bindetiderna förkortas. Med CA-cement är effekten ungefär densamma oberoende av typ av hydrofoberingsmedel. Initial bindetid minskar med ca 2 timmar och slutlig

bindetid med ungefär dubbla detta värde. Effekten av acceleratoren är större (minst 3 timmar för initial bindetid) med VA-cement än med CA-cement, och med detta cement är effekten något större i kombination med hydrofoberingsmedel E än med medel W.

Bindetid i förhållande till fasutvecklingen under de första 24 timmarna behandlas närmare i avsnitt 4.1.4



FIGUR 16: PENETRATIONSdjUP VID MÄTNING AV BINDETID FÖR BLANDNINGAR MED CEMENT CA



FIGUR 17: PENETRATIONSdjUP VID MÄTNING AV BINDETID FÖR BLANDNINGAR MED CEMENT VA

TABELL 4: INITIAL OCH SLUTLIG BINDETID FÖR SAMTLIGA PROVADE BLANDNINGAR.

Blandning	Initial bindetid	Slutlig bindetid
CA	6,5 h	11,5 h
CA-E	6,5 h	11 h
CA-W	8 h	14 h
CA-E-A	4 h	7,5 h
CA-W-A	6 h	9 h
VA	7 h	14,5 h
VA-E	8 h	14,5 h
VA-W	11 h	> 16 h
VA-E-A	4,5 h	7,5 h
VA-W-A	8 h	13 h

4.1.4 Tillsatsmedlens inverkan på fasutveckling, bindning och värmeutveckling under de 24 första timmarna

I figurerna i bilaga A har normaliserad utveckling (d.v.s. mängd i förhållande till uppmätt maxvärde under tiden 0-24 timmar) av ettringit, gips och kalciumhydroxid kombinerats med mätvärdena för värmeutveckling och initial och slutlig bindetid för samtliga blandningar. Med dessa figurer och Figur 9 - Figur 11 som bas kan en hel del observationer vad gäller tillsatsmedlens inverkan under de första 24 timmarna göras.

4.1.4.1 Skillnad mellan CA-cement och VA-cement (utan accelerator och hydrofoberande medel).

Det uppstår ingen avgörande skillnad i mängden gips vid 0,5 timmar, ettringit vid 24 timmar eller kalciumhydroxid vid 24 h när de olika cementtyperna används. Däremot är värmeutvecklingen som förväntat något långsammare för VA-cement än för CA-cement. Den största skillnaden är att VA-cement har en något mer utdragen bindetid. Den initiala bindningen sker ungefär samtidigt, men den slutliga bindningen inträffar senare, vid 14,5 timmar i stället för vid 11,5 timmar.

4.1.4.1 Inverkan av accelerator (utan hydrofoberande medel)

Den största inverkan som acceleratoren har på den kemiska fasutvecklingen när den används tillsammans med CA-cement är att mängden ettringit, både vid 0,5 timmar och vid 24 timmar, ökar. Med VA-cement fås också en ökning av ettringitmängden men i betydligt lägre grad. Gipsmängden med CA-cement vid 0,5 är ungefär densamma men den minskar betydligt snabbare med accelerator än utan. Med VA-cement fås betydligt lägre gipshalt i början och tiden tills den försvunnit helt är också kortare.

Mängden kalciumhydroxid är nästan opåverkad.

Acceleratoren snabbar på värmeutvecklingen och den största skillnaden uppstår redan initialt, inom den första timmen och byggs sedan på under de första 10 timmarna. Därefter är värmeutvecklingen lägre med accelerator än utan. Det andra maxvärdet för värmeflödet, d.v.s. piken (inflexionspunkten) inträffar c:a 4 timmar tidigare med accelerator än utan. Detta gäller för både VA-cement och CA-cement. Den enda skillnaden mellan CA-cement och VA-cement när det gäller värmeutvecklingen är att denna pik är något lägre och mer utdragen för VA-cement än för CA-cement.

Bindetid mättes inte på blandningar med bara accelerator.

4.1.4.2 Inverkan av hydrofoberande medel E (utan accelerator)

Med CA-cement och medel E är figurerna i bilaga A väldigt lik den utan medel E. Det är ingen större skillnad på bindetid och inte på värmeutveckling. Av Figur 9 - Figur 11 framgår dock att mängden gips vid 0,5 timmar, mängden ettringit och i synnerhet mängden kalciumhydroxid vid 24 timmar är högre med medel E än utan.

Medel E har heller ingen större inverkan på bindetiden för VA-cement, och inte på värmeutvecklingen under de första 24 timmarna. På samma sätt som med CA-cement så ökar mängden kalciumhydroxid i hög grad. Däremot minskar mängden gips. Medel E har dock en mycket stor inverkan på ettringitbildningen hos VA-cement. Den startar betydligt senare, vid 7,5 timmar i stället för 2,5 timmar, och mängden vid 24 timmar är knappt en fjärdedel av vad som erhålls utan medel E.

4.1.4.3 Inverkan av hydrofoberande medel W (utan accelerator)

Medel W påverkar bindetid och värmeutveckling i mycket högre grad än vad medel E gör. Bindetiden förlängs och värmeutvecklingen kommer betydligt senare. Det gäller både med CA-cement och med VA-cement.

Mängden gips minskar något men det tar betydligt längre tid tills det försvinner. För VA-cement sker det vid 17 timmar i stället för vid 10 timmar som gäller utan medel W. Ettringitbildningen är relativt opåverkad. Men detta medel fördröjer tidpunkten när kalciumhydroxid börjar bildas. Utan medel W sker detta vid ca 2,5 timmar medan det med medel W inte sker förrän efter 5,5 – 7,5 timmar.

Detta medel har alltså en retarderande effekt.

4.1.4.4 Inverkan av accelerator och hydrofoberande medel E

De tendenser som medlen har var för sig kvarstår när de kombineras, acceleratorn ger mer ettringitbildning och medel E höjer mängd kalciumhydroxid vid 24 timmar. I denna kombination fås ungefär samma ettringitbildning med VA-cement som detta cement ger utan medel E.

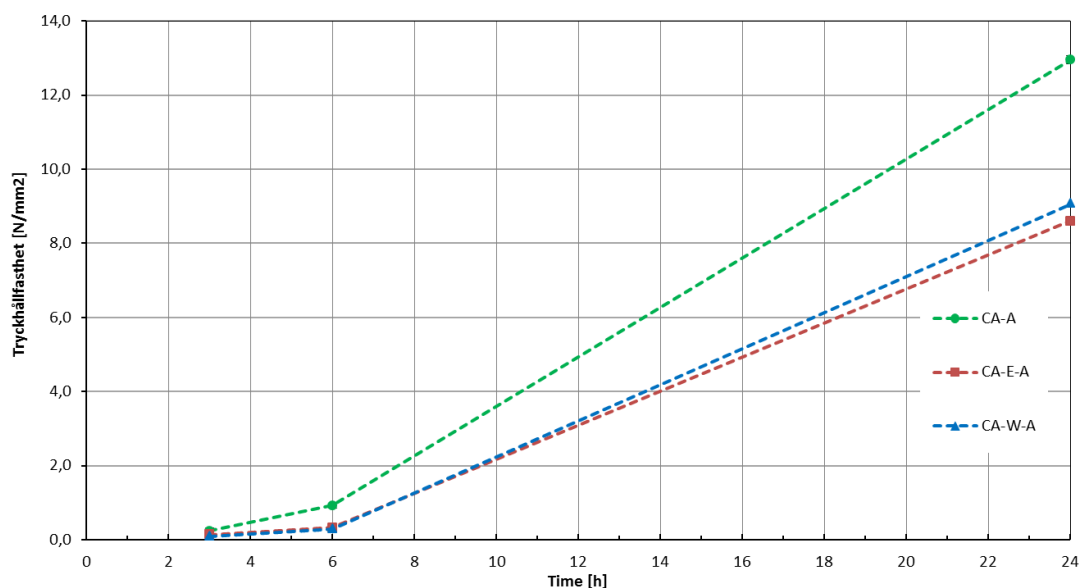
Bindetiden blir kortare och värmeutvecklingen något snabbare. Värmeutvecklingen är snarlik den som fås med enbart accelerator.

4.1.4.5 Inverkan av accelerator och hydrofoberande medel W

Störst inverkan på fasutvecklingen av acceleratorn fås då den används i en blandning där medel W tillsatts. Den uppväger till stor del den retarderande effekt som hydrofoberingsmedlet har med CA-cement. Bindetiden förkortas och värmeutvecklingen blir snabbare och båda blir jämförbara med vad som erhålls med medel E och accelerator. Samma tendens finns också med VA-cement, men inte i lika hög grad.

Acceleratorn ökar ettringitbildningen med CA-cement men med VA-cement är den ungefär densamma. Kalciumhydroxidmängden vid 24 h är nästan opåverkad, men bildningen startar tidigare än när ingen accelerator finns med. Blandningen med VA-cement har mycket låg gipshalt.

4.1.5 Tryckhållfasthet 0-24 timmar



FIGUR 18: TRYCKHÅLLFASTHETSUTVECKLING 0 - 24 H FÖR TRE BLANDNINGAR MED CA-CEMENT.

De båda hydrofoberingsmedlen har ungefär samma effekt på tryckhållfastheten under de första 24 timmarna. Hållfastheten vid 24 timmar har minskat till mellan 66 och 70 % av vad som erhålls utan hydrofoberingsmedel.

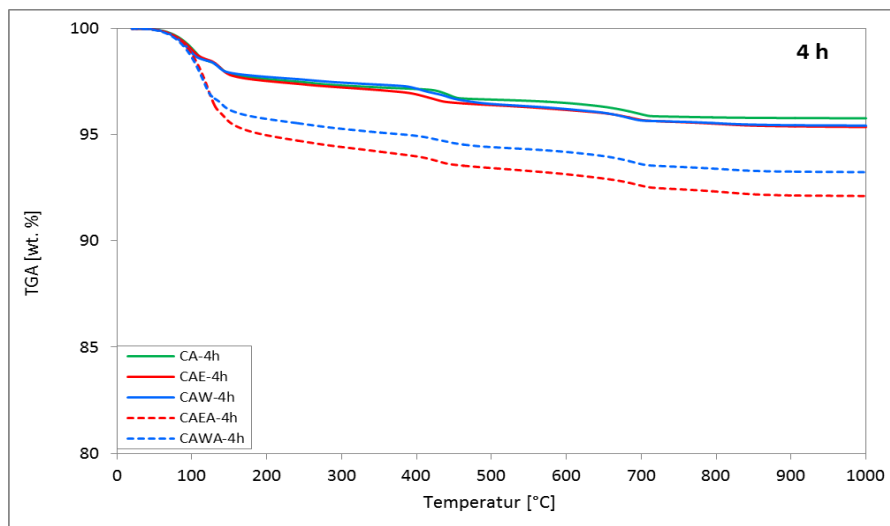
4.1.6 Termogravimetri

Termogravimetri genomfördes enbart på blandningar med CA-cement. TG-kurvor för blandningarna vid tre tillfällen, efter 4, 7 och 24 timmars hydratisering, ges i Figur 19 till Figur 21.

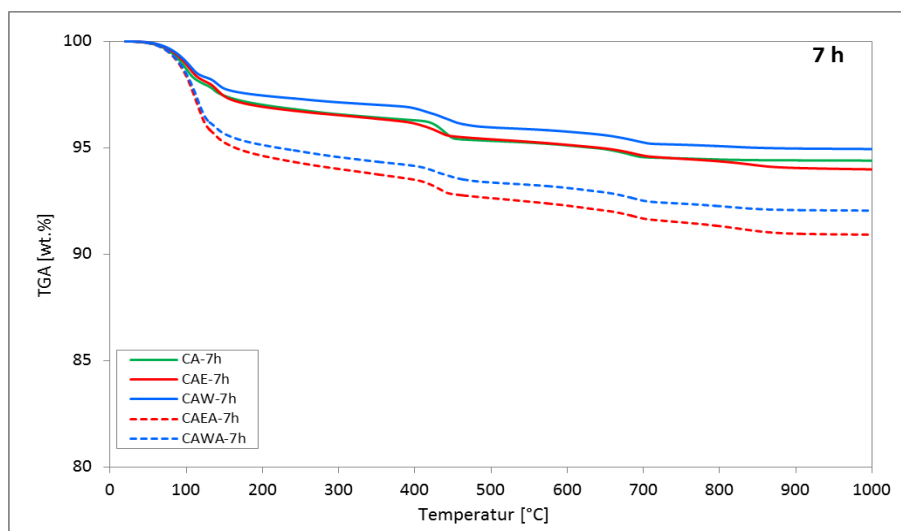
Då vatten bundet i kalciumsilikathydrater och andra hydrater successivt avgår mellan 100 °C och 1000 °C är det omöjligt att med TG urskilja vilka hydrater som bildats. Den enda reaktionsprodukt som ger ett distinkt avtryck i TG-diagrammen är $\text{Ca}(\text{OH})_2$ som avgår vid ca 400°C. Steget i TG-kurvan vid denna temperaturnivå är knappt märkbar vid 4 timmar men klart urskiljbar efter 24 timmars härdning.

I övrigt ger kurvorna bara en uppfattning av mängden fysiskt och kemiskt bundet vatten för de olika blandningarna, som återspeglas i den totala viktsavgången. Efter 4 timmar ses ingen skillnad i viktsavgång när enbart hydrofoberingsmedel används. Efter 7 timmar är den något lägre i blandningen med medel W. Efter 24 timmar har även medel E något lägre viktsavgång än utan hydrofoberingsmedel och medel W lägst viktsavgång.

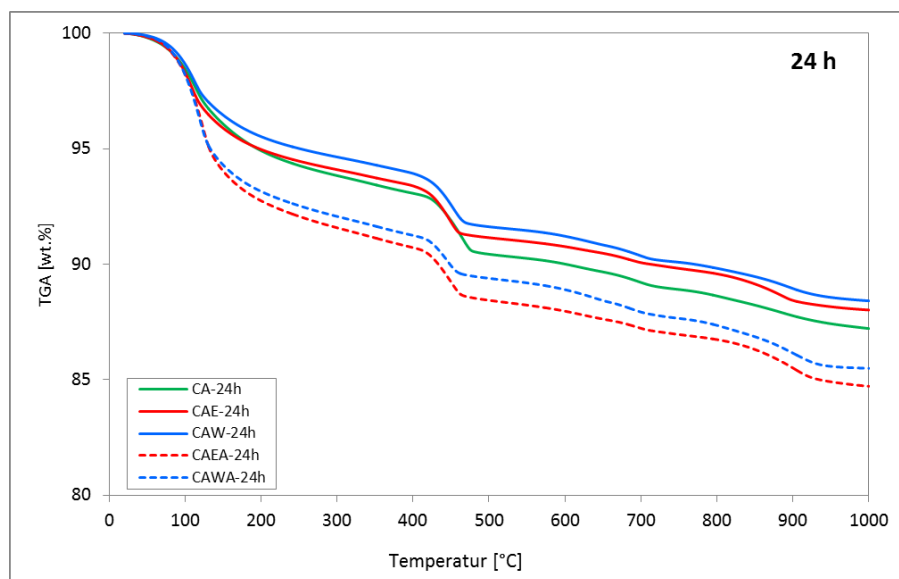
Med accelerator ökar viktsavgången efter 4 timmar med i storleksordningen 3 %-enheter på torrvikten. Denna ökning uppstår i intervallet mellan 75 och 150 °C och kommer alltså från produkter som inte är stabila när temperaturen ligger på 105° C konstant, och alltså inte betraktas som kemiskt bundet. Ökningen är något större i kombination med hydrofoberingsmedel E än med medel W. Denna ökning kvarstår nästan oförändrad efter 7 timmar och 24 timmar. Jämför man med Figur 18 så är det uppenbart att denna viktökning inte ger någon högre tryckhållfasthet hos bruket.



FIGUR 19: TG-KURVOR FÖR SAMTLIGA PROVADE BLANDNINGAR EFTER 4 TIMMARS HÄRDNING



FIGUR 20: TG-KURVOR FÖR SAMTLIGA PROVADE BLANDNINGAR EFTER 7 TIMMARS HÄRDNING



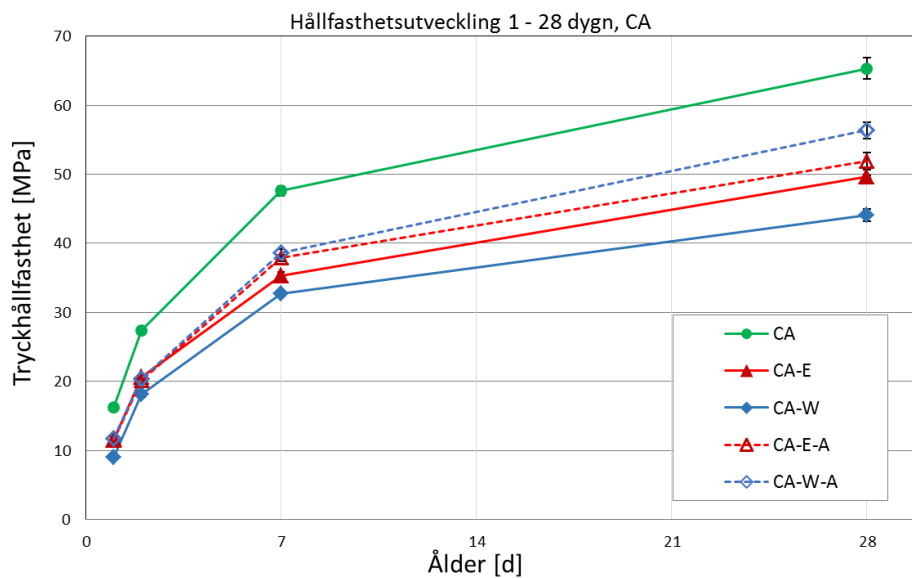
FIGUR 21: TG-KURVOR FÖR SAMTLIGA PROVADE BLANDNINGAR EFTER 24 TIMMARS HÄRDNING

4.2 Hydrofoberande medlens inverkan på den härdnande eller den härdade betongens egenskaper

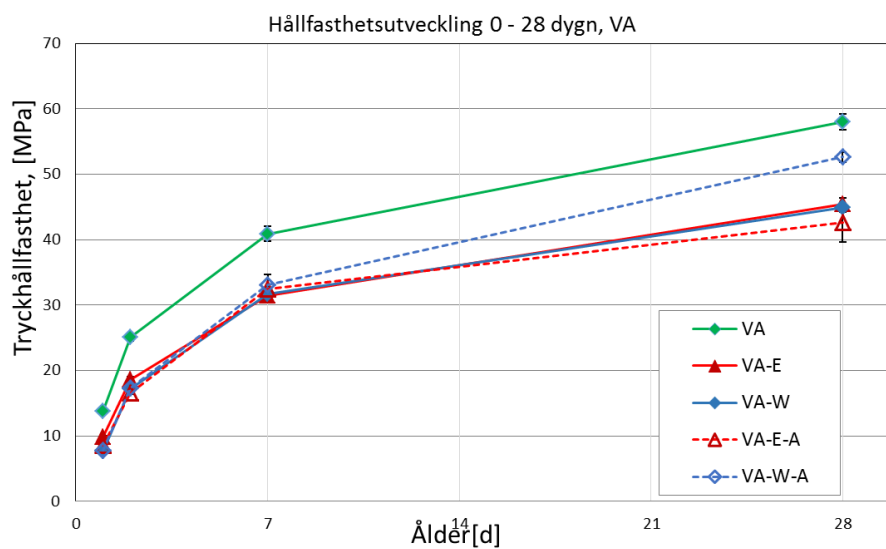
4.2.1 Tryckhållfasthet 1 - 28 dygn

Hållfasthetsutvecklingen mellan 1 och 28 dygn hos bruksblandningarna med hydrofoberingsmedel och accelerator visas i Figur 22 och Figur 23. Samtliga provresultat redovisas i bilaga B.

Hydrofoberingsmedlen påverkar hållfastheten negativt under detta tidsintervall. Med CA-cement har hydrofoberingsmedel W störst inverkan och ger efter 28 dygn en sänkning med 33 % medan medel E leder till en sänkning med 25 %. I kombination med VA-cement fås i princip samma sänkning av 28-dygnshållfastheten med båda medlen; 22 %. Tillsätts accelerator tillammans med medel W minskar detta hydrofoberingsmedels negativa effekt, och nettoeffekten blir en minskning med enbart 10-14 % för båda cementtyperna. Tillsammans med hydrofoberingsmedel E har acceleratoren endast en marginell effekt på 28-dygnshållfastheten.



FIGUR 22: TRYCKHÅLLFASTHETSUTVECKLING FÖR BLANDNINGARNA MED CA-CEMENT



FIGUR 23: TRYCKHÅLLFASTHETSUTVECKLING FÖR BLANDNINGARNA MED VA-CEMENT.

Tryckhållfastheten efter 1 dygn från dessa mätningar och från de mätningar som redovisas i 4.1.5 ges i Tabell 5. Värdena i 5.1.5 verkar vara något lägre än värdena redovisade i detta avsnitt.

TABELL 5: TRYCKHÅLLFASTHET I MPA VID 1 DYGN'S ÅLDER.

Tillsatsmedel	CA		VA
	Avsn. 5.2.1	Avsn.5.1.5	Avsn. 5.2.1
--	16,2	-	13,7
A	-	13,0	-
E	11,5	-	9,9
W	9,0	-	7,7
E, A	11,6	8,6	8,6
W, A	11,8	9,1	7,9

4.2.2 Vidhäftning

För att kartlägga hydrofoberingsmedlens inverkan på vidhäftningshållfastheten gjordes prov med pågjutningar av betong med och utan dessa medel på betongplattor. Samtliga provresultat redovisas i bilaga D. Medelvärden och standardavvikelse för de olika blandningarna ges i Tabell 6.

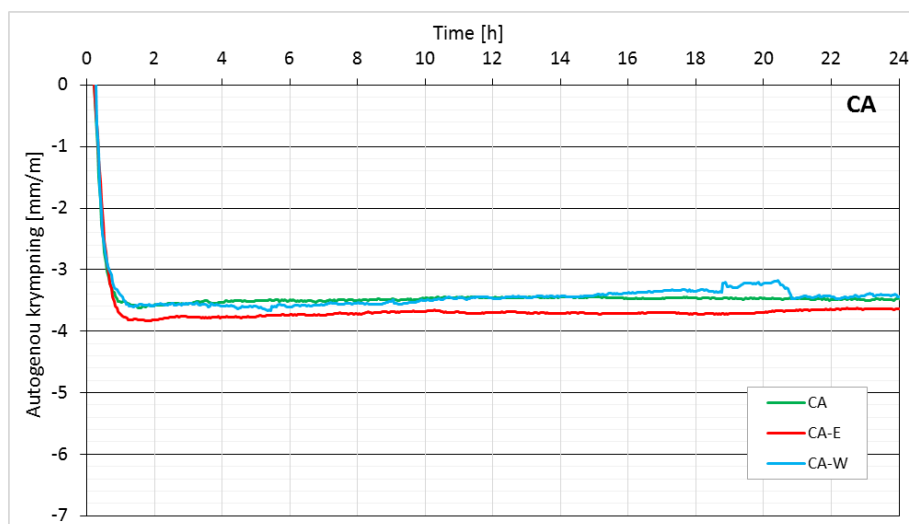
Hydrofoberingsmedel W påverkar inte vidhäftningen i någon större grad, medan medel E ger mycket varierande och osäkra resultat.

TABELL 6: VIDHÄFTNINGSHÅLLFASTHET HOS PÅGJUTNINGAR AV BETONG MED OCH UTAN HYDROFOBERINGSMEDEL

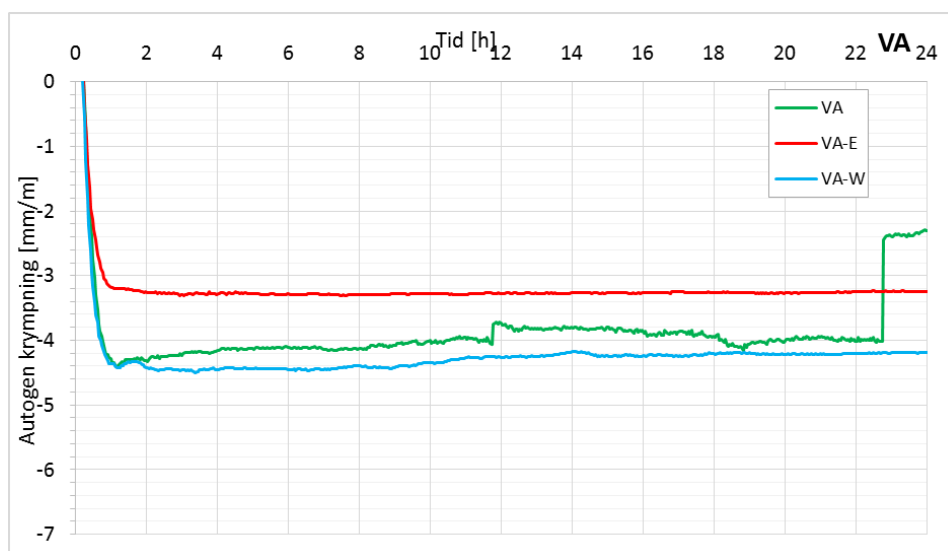
Blandning	Vidhäftningshållfasthet, [MPa] (medelvärde)	Standardavvikelse
BCA	3,01	0,22
BCA-W	2,91	0,36
BCA-E	2,71	1,31

4.2.3 Krympning – autogen och total

Den autogena krympningen (självuttorkningskrympningen) mättes bara på blandningar utan accelerator och upp till 24 timmars ålder. Resultaten visas för CA-blandningarna i Figur 24 och för VA-blandningarna i Figur 25. Hydrofoberingsmedlen har mycket liten inverkan på den autogena krympningen hos blandningar med CA-cement. Med VA-cement ger hydrofoberingsmedel E mindre krympning medan medel W inte påverkar den autogena krympningen nämnvärt. I båda fallen inträffar den autogena krympning som fås under detta första dygn mycket tidigt, d.v.s. under den första timmen.



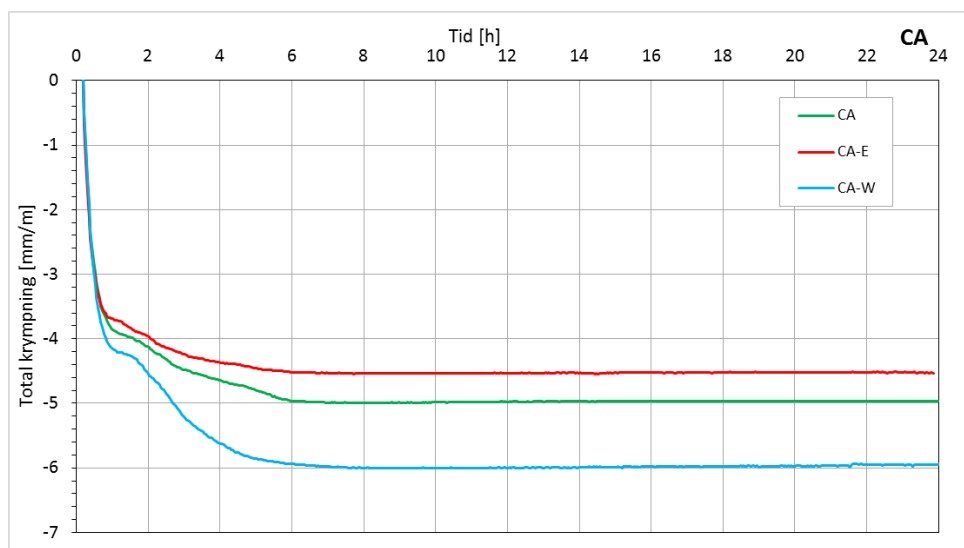
FIGUR 24: AUTOGEN KRYMPNING HOS BLANDNINGAR MED CA-CEMENT



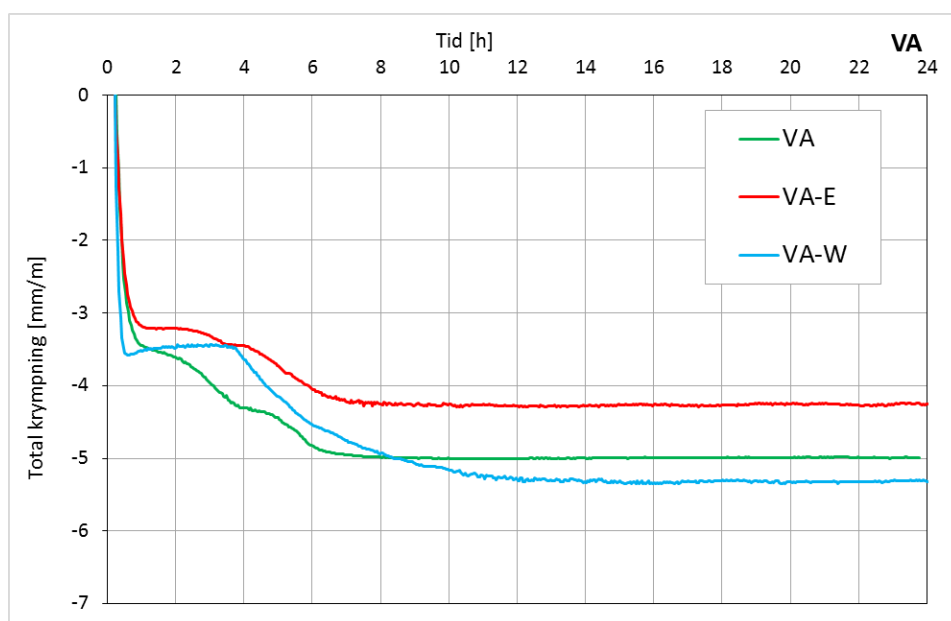
FIGUR 25: AUTOGEN KRYMPNING HOS BLANDNINGAR MED VA-CEMENT

Den totala krympningen mätt på samma blandningar och under samma tidsintervall visas i Figur 26 och Figur 27. Uttorkningsdelen av krympningen startar för blandningarna med CA-cement ungefär 1 timma efter provningens start och når ett maxvärde mellan 6 och 8 timmar efter start, d.v.s. ungefär när initial bindning sker. Hydrofoberingsmedel W ökar uttorkningskrympningen medan medel E minskar den något.

När VA-cement används sker övergången från ren autogen krympning till uttorkningskrympning mer spritt. Utan hydrofoberingsmedel sker detta efter ungefär en timma, med hydrofoberingsmedel E efter c:a två timmar och med medel W efter fyra timmar. Den totala krympningen är störst med medel W, minst med medel E och blandningen utan hydrofoberingsmedel hamnar däremellan. Troligtvis är det den retarderande effekten av medel W som ökar uttorkningen och krympningen.



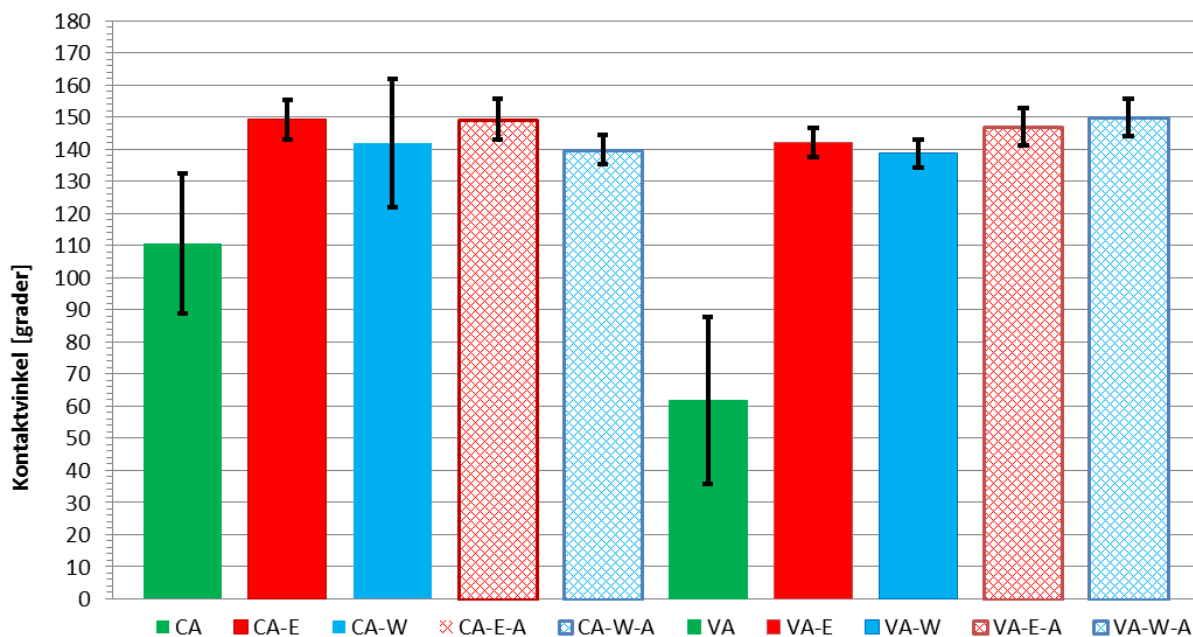
FIGUR 26: TOTAL KRYMPNING HOS BLANDNINGAR MED CA-CEMENT



FIGUR 27: TOTAL KRYMPNING HOS BLANDNINGAR MED VA-CEMENT

4.2.4 Kontaktvinkel

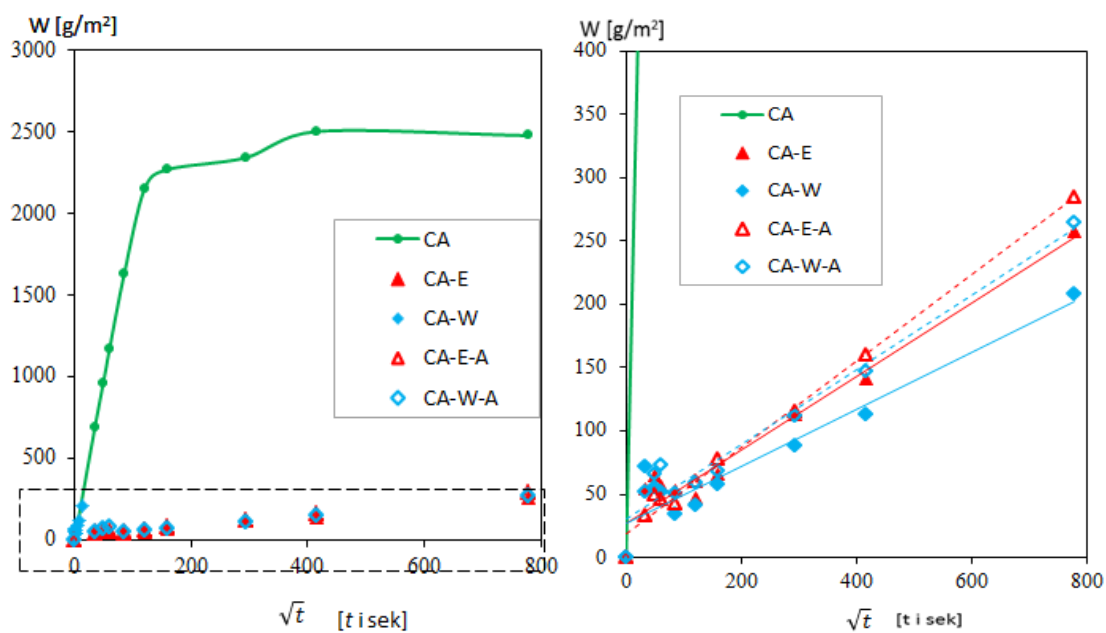
Kontaktvinkeln mätt på formytor av bruksprover med de olika sammansättningarna visas i Figur 28. Kontaktvinkel för CA som inte innehåller något hydrofoberingsmedel är förvånansvärt stor och skulle även den klassas som hydrofob. Dock ser man att båda hydrofoberingsmedlen ger en påtaglig ökning av kontaktvinkeln. Samtliga blandningar med medel W och medel E har kontaktvinkel mellan 140° och 150° . Detta gäller även för blandningarna med accelerator.



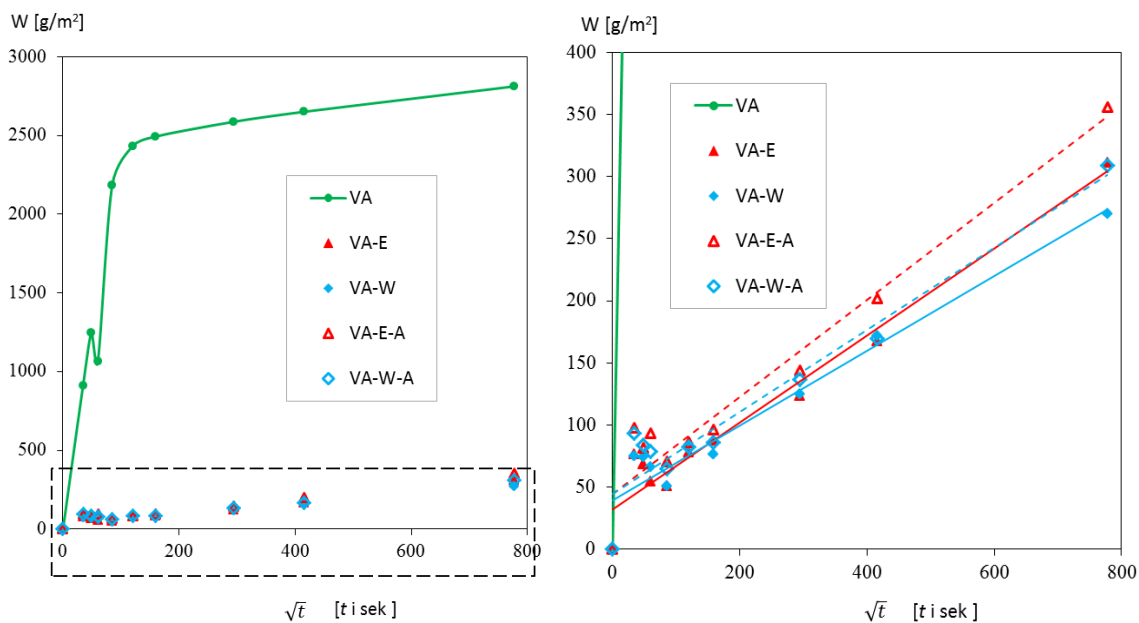
FIGUR 28: KONTAKTVINKEL, MEDELVÄRDE OCH STANDARDAVVIKELSE, PÅ YTOR AV BRUK MED OCH UTAN TILLSATSMEDEL

4.2.5 Vattenabsorption

Vattenabsorptionen under ca 170 timmar hos bruksprover med de olika sammansättningarna visas i Figur 29 för prover med CA-cement och i Figur 30 för prover med VA-cement. Som synes av diagrammet till vänster i respektive figur är vattenabsorptionen hos prover med hydrofoberingsmedel avsevärt mycket mindre än i proverna utan hydrofoberingsmedel, med eller utan accelerator. Långsammast vattenabsorption erhålls med hydrofoberingsmedel W. Acceleratorn ökar absorptionshastigheten något. Dessa skillnader är dock mycket marginella jämfört med skillnaden mellan vad som erhålls utan och med hydrofoberingsmedel. Vattenabsorptionen är något snabbare i en blandning med VA-cement än i en med CA-cement. Detta gäller för samtliga tillsatsmedelsvarianter.



FIGUR 29: VATTENABSORPTION SOM FUNKTION AV TIDEN FÖR BRUKSPROVER MED CA-CEMENT



FIGUR 30: VATTENABSORPTION SOM FUNKTION AV TIDEN FÖR BRUKSPROVER MED VA-CEMENT

4.3 Sammanfattning av resultat gällande hydrofoberande medels inverkan på hydratiseringsförloppet

4.3.1 Inverkan av Sitren P 750 (E)

Detta hydrofoberingsmedel har relativt liten inverkan på bindetid och utvecklingen av hydratiseringsprodukter i tidig ålder. Efter ett dygn finns det dock betydligt mer kalciumhydroxid än utan hydrofoberingsmedel eller med hydrofoberingsmedel W.

Användning av accelerator har en viss inverkan på blandningar med denna typ av hydrofoberingsmedel, men den är jämförbar med den effekt som fås på blandningar utan hydrofoberingsmedel.

Medlet gör att hållfastheten sänks i hela intervallet 0 – 28 dygn. Vid 28 dygn är hållfastheten med båda cementen ca 23 % lägre, detta påverkas endast marginellt av tillsats av accelerator.

Medlet ger en klart högre hydrofobicitet hos betongen, mätt som kontaktvinkel och absorptivitet. Skillnaden mellan de båda medlen är i detta hänseende liten.

Vad gäller vidhäftning uppmättes ett ca 10 % lägre medelvärde med detta hydrofoberingsmedel, men spretande resultat (stor standardavvikelse).

4.3.2 Inverkan av Silres BS 1001 (W)

Detta hydrofoberingsmedel har en retarderande effekt på fasutvecklingen i tidig ålder; bindningen sker senare och under längre tid och värmeutvecklingen förskjuts framåt. Utvecklingen av kalciumhydroxid fördröjs. På grund av detta blir uttorkningskrympningen större under det första dygnet.

Dessa effekter kompenseras dock till stor del av effekten av acceleratoren. Acceleratorn har betydligt större inverkan på blandningar med detta hydrofoberingsmedel än med hydrofoberingsmedel E.

Detta gäller även för hållfasthetsutvecklingen. Med rent portlandcement sänks 28-dygns-hållfastheten med 33 % och med flygaskcementet med 23 %. Tillsätts accelerator fås en betydligt snabbare hållfasthetsutveckling och den slutliga 28-dygns-hållfastheten blir bara i storleksordningen 10 – 14 % lägre än utan accelerator och hydrofoberingsmedel.

Medlet ger en klart högre hydrofobicitet hos betongen, mätt som kontaktvinkel och absorptivitet. Skillnaden mellan de båda medlen är i detta hänseende liten.

Detta medel påverkar inte vidhäftningen i alls samma grad som medel E. Medelvärdet sänktes med 3 % och standardavvikelsen är något högre än utan medel, men inte alls så stor som för medel E.

4.4 Inverkan av cementtyp och accelerator i övrigt

Cementet med flygaska har en något senare och mer utdragen bindning än det rena Portlandcementet. Värmeutvecklingen är också mer utdragen. Fasutvecklingen hos de två cementen under det första dygnet skiljer sig förvånansvärt lite från varandra. Det bildas dock

mer ettringit med det rena portlandcementet. Acceleratorn ökar också ettringitbildningen, i synnerhet i blandningar med Portlandcement som enda bindemedel.

Acceleratorn gör att mer vatten binds i hydraten under det första dygnet. En stor del av detta tillskott är dock fysiskt bundet och avgår vid relativt låga temperaturer, runt 100° C. Det ger heller ingen positiv inverkan på hållfastheten efter ett dygn.

4.5 Val av lämplig sammansättning och medel att prova vid provsprutning

Baserat på dessa resultat ansågs Silres BS 1001 (W) i kombination med accelerator vara den kombination som hade störst potential att ge en funktionell sprutbetong, både med avseende på beteendet i tidig ålder, hållfasthetsutveckling och vidhäftning samt för att ge betongen den eftersträlvade hydrofobiciteten.

5 RESULTAT - HYDROFOBERANDE MEDLENS INVERKAN PÅ BETEENDET VID SPRUTNING OCH SPRUTBETONGENS EGENSKAPER

Bilder från provsprutningen som skedde på VUC:s laboratorium i Älvkarleby visas i bilaga E.

5.1.1 Beteende vid sprutning

I sprutbetongen med hydrofoberingsmedel kunde mindre vatten användas än i den utan hydrofoberingsmedel, med samma konsistens (22-23 cm). Hydrofoberingsmedel W hade ingen negativ inverkan på beteendet vid sprutning, snarare gav det ett något bättre beteende.

5.1.2 Vidhäftning

Hydrofoberingsmedlet W påverkade inte vidhäftningshållfastheten hos sprutbetong, se Tabell 7. Dock är vidhäftningshållfastheten betydligt lägre hos sprutbetongen än vid pågjutning av betong med och utan hydrofoberingsmedel, se 4.2.2. Samtliga provningsresultat redovisas i bilaga F.

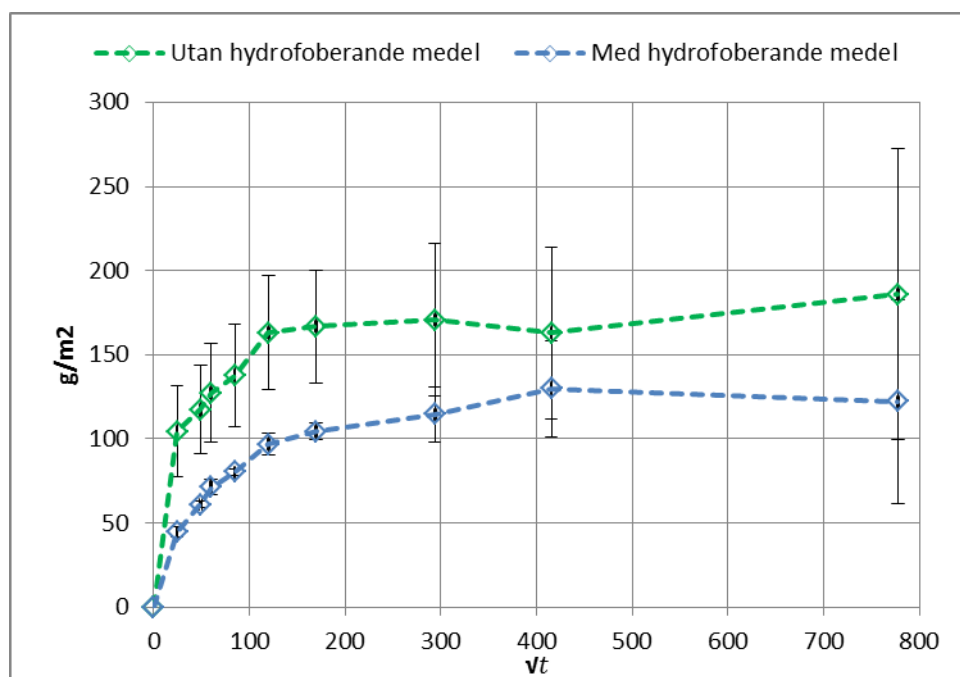
TABELL 7: VIDHÄFTNINGSHÅLLFASTHET HOS SPRUTBETONGER MED OCH UTAN HYDROFOBERANDE MEDEL W.

Blandning	Vidhäftningshållfasthet, [MPa] (medelvärde)	Standardavvikelse
Utan W	0,76	0,08
Med W	0,73	0,11

5.1.3 Kontaktvinkel

Mätning av kontaktvinkel på provkroppar borrade och sågade ur de provsprutade plattorna visade sig inte ge användbara resultat. Mätresultaten redovisas i bilaga G.

5.1.4 Absorptivitet



FIGUR 31: VATTENUPPSUGNING I BORRADE/SÅGADE PROVKROPPAR AV SPRUTBETONG, MED STANDARDAVVIKELSE.

Det hydrofoberande medlet sänker vattenuppsugningen i sprutbetongen med ungefär en tredjedel. I sprutbetong fås inte alls samma skillnad mellan prover med och utan hydrofoberande medel som i gjutna bruksprover, se 4.2.5. Vattenabsorptionen i sprutbetong utan hydrofoberande medel är inte ens en tiondel av vad den är i bruksproverna. Med hydrofoberande medel är vattenuppsugningen i sprutbetong jämförbar med den i bruksproverna.

5.1.5 Kloridinträngning

Kloridinträngningen mättes med NT Build 492. Migrationskoefficienten, som ger ett mått på motståndet mot kloridinträngning, redovisas i Tabell 8. Samtliga mätresultat återfinns i bilaga H.

TABELL 8: MIGRATIONSKOEFFICIENT FÖR KLORIDINTRÄNGNINGEN ENLIGT NT BUILD 492

Blandning	Kloridmigrationskoefficient [·10 ⁻¹² m ² /s] (medelvärde)	Standardavvikelse [·10 ⁻¹² m ² /s]
Utan W	6,9	1,4
Med W	9,8	0,8

Detta innebär att det hydrofoberande medlet höjer kloridmotståndet med c:a 40 %.

6 SLUTSATSER

De två hydrofoberande medlen, Sitren P 750 (E) och Silres BS 1001 (W), som användes var båda baserade på organosilikater. Medel E grundar sig på modifierad siloxan som är anbringad på silikastoft och medel W är vattenbaserad emulsion av silan/siloxan. De flesta provningarna har utförts med dels ett rent Portlandcement (Degerhamns anläggningscement från CEMENTA) och dels ett Portland-flygaskecement (Slite Anläggning FA från CEMENTA). Båda är sulfatresistenta och lågalkaliska. Provningar med och utan accelerator har utförts. Dessa slutsatser gäller för de båda hydrofoberingsmedlen i kombination med dessa cementtyper och den använda acceleratoren.

Använda utan accelerator påverkade medel W bindetid och värmeutveckling i betydligt högre grad än medel E. Medel W hade en klart retarderande effekt. Bland annat fördröjdes kalciumhydroxidtillväxten. Den retarderande effekten kunde dock till stor del kompenseras med tillsättning av en accelerator.

28-dygnshållfastheten sänktes med båda hydrofoberingsmedlen, mest med medel W (33 %). Men med hydrofoberingsmedel W komparerades denna effekt till viss del av acceleratoren så att sänkningen bara blev ca 10 %. Acceleratoren hade inte samma avgörande effekt när medel E användes, då var sänkningen runt 22 % både med och utan accelerator.

Vidhäftningen var bättre och mindre spretig (mindre standardavvikelse) med medel W än med medel E. Hydrofobiciteten hos bruk med de båda medlen var jämförbar.

Acceleratoren ledde till att större mängd vatten bands i och till hydraten under de första 24 timmarna, vilket dock inte motsvarades av någon högre hållfasthet, utan tvärt om. Eftersom acceleratoren också ökade ettringitbildningen under denna period, i synnerhet i kombination med det rena Portlandcementet, är det troligt att det är vatten bundet i ettringit som ger den ökade bundna vattenmängden.

Vid provsprutning med hydrofoberingsmedel W erhöles samma konsistens med mindre mängd vatten, och beteendet vid sprutning var minst lika bra som utan hydrofoberingsmedel. Det hydrofoberande medlet påverkade inte vidhäftningen.

Påverkan på kontaktvinkeln och vattenuppsugningen av de två hydrofoberingsmedlen var jämförbar. I gjutet bruk erhöles en mycket stor skillnad i vattenuppsugning mellan blandningar med och utan hydrofoberingsmedel. I sprutbetong minskade det hydrofoberande medlet vattenuppsugningen med bara c:a en tredjedel och det höjde kloridmotståndet med c:a 40 %.

LITTERATURFÖRTECKNING - ARTIKLAR OCH RAPPORTER

da Silva, N. o.a., 2015. *Performance test for hydrophobic impregnation for protection against chloride ingress in concrete*. Melbourne, Australia, u.n.

During, O. & Malaga, K., 2014. *Life cycle cost analysis on impregnated bridge edge beams*. Lissabon, Portugal, Laboratorio Nacional del Engenharia Civil, pp. 235-240.

-
- Falchi, L., Zendri, E., Mueller, U. & Fontana, P., 2015. The influence of water repellent admixtures on the behaviour and the effectiveness of Portland limestone cement mortars. *Cement and Concrete Composites* 59, pp. 107-118.
- Johansson, A., Nyman, B. & Silfwerbrand, J., 2008. *Decreasing humidity in concrete facades after water repellent treatment*. Bryssel, Aedificato Publishers, pp. 379-386.
- Kargol, M., Mueller, U. & Gardei, A., 2013. Properties and performance of silane - blended cement systems. *Materials and Structures*, Volym 46, pp. 1429-1439.
- Kargol, M., Mueller, U., Gardei, A. & Meng, B., 2011. *Influence of blended cements on the performance of water repellent agents*. Rom, Aedificato Publishers, pp. 22-32.
- Mattila, J., 2005. *Effect of water repellent coatings on the corrosion rate of reinforcement in carbonated concrete facade panels in Nordic climate*. Stockholm, Aedification Publishers, pp. 47-58.
- Milenkovic, N. o.a., 2014. *Nonionic silane emulsion as integral water repellent - impact on cement hydration process*. Lissabon, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, pp. 47-56.
- Parg, L., 2016. *Investigation of the hydration behavior of concrete mixes with water repellent agents for spray applications*, Karlsruhe: Karlsruher Institute of Technology.
- Roos, M., König, F., Stadtmüller, S. & Weyerhausen, B., 2008. *Evolution of silicone based water repellents for modern building protection*. Bryssel, Aedificato Publishers, pp. 3-16.
- Selander, A., Davant, N. & Fjellström, P., 2014. *Hydrofob sprutbetong - Försök med hydrofob sprutbetong för betongreparation*, Stockholm: SBUF rapport 12696.

LITTERATURFÖRTECKNING - STANDARDER

SS-EN 196-1:2016 *Cement - Proving - Del 1: Bestämning av hållfasthet*

SS-EN 196-3:2016 *Cement - Proving - Del 3: Bestämning av bindetid och volymbeständighet*

SS-EN 197-1:2011 *Cement - Del 1: Sammansättning och fordringar för ordinära cement*

SS-EN 1542: *Betongkonstruktioner - Proving av produkter och system för skydd och reparation - Vidhäftningshållfasthet (utdragsprov) (1999)*

SS-EN 1766 *Proving av produkter och system för skydd och reparation - Provningsmetoder – Referensbetong (2000)*

SS-EN 13263-1:2005 + A1:2009 *Silikastoft till betong - Del 1: Definitioner, krav samt kriterier för överensstämmelse*

SS-EN 14488-4:2005+ A1:2008 *Proving av sprutbetong - Del 4: Vidhäftningshållfasthet genom dragproving av borrkärnor*

SS-EN ISO 15148 *Fukt-och värmetekniska egenskaper hos byggmaterial och byggprodukter - Bestämning av kapillaritetskoefficient genom partiell nedsänkning i vatten (2003)*

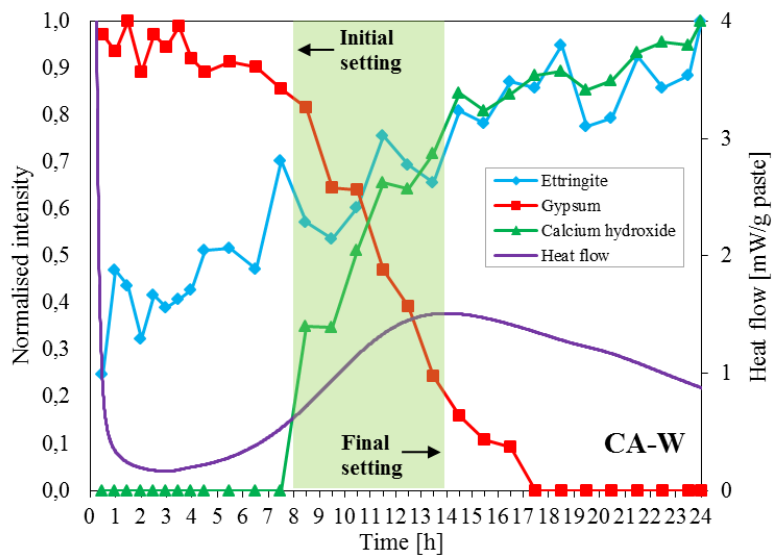
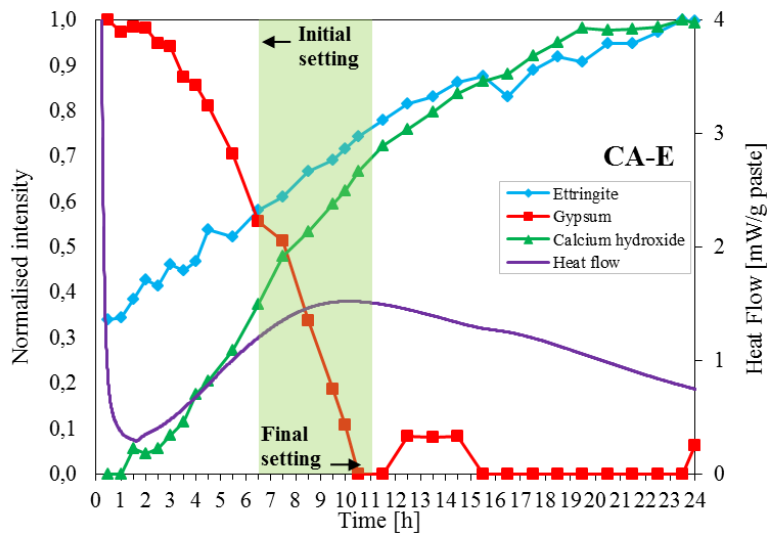
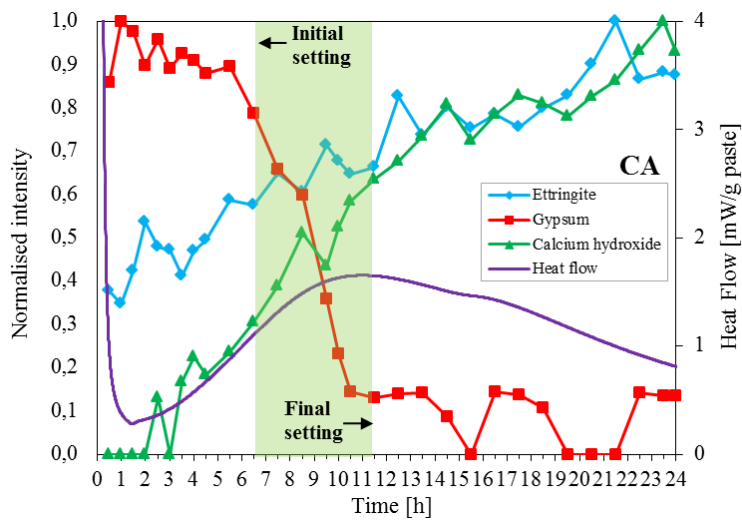
SS 134202:2006 *Cement - Sammansättning och fordringar för cement med moderat värmeutveckling (MH-cement)*

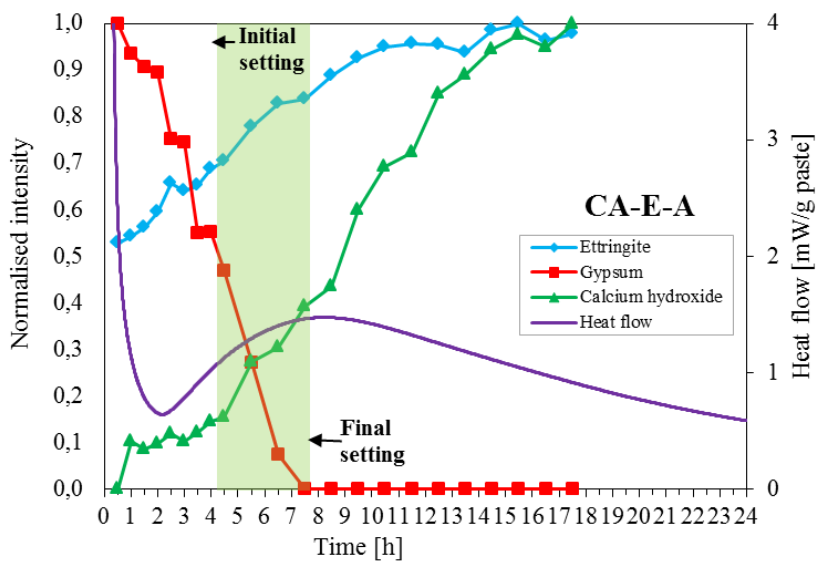
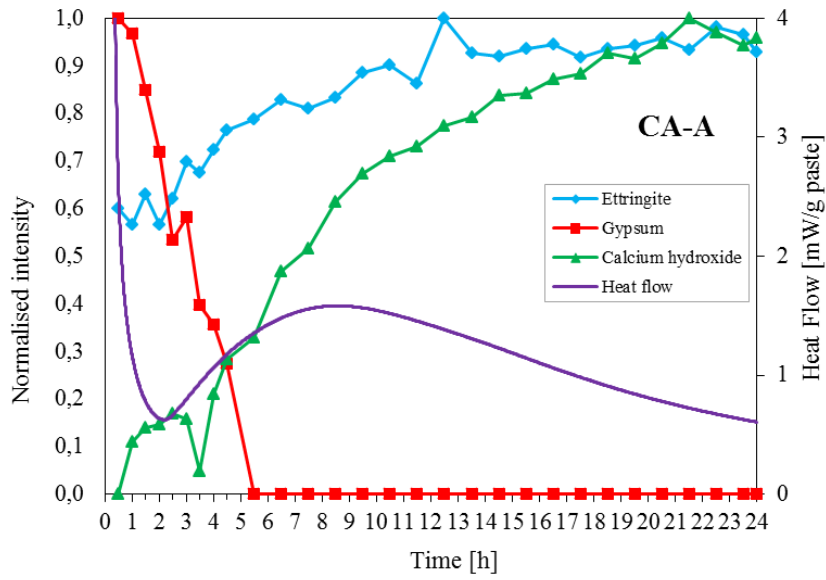
SS 134203:2014 *Cement - Sammansättning och fordringar för ordinära cement med låg alkalihalt (LA)*

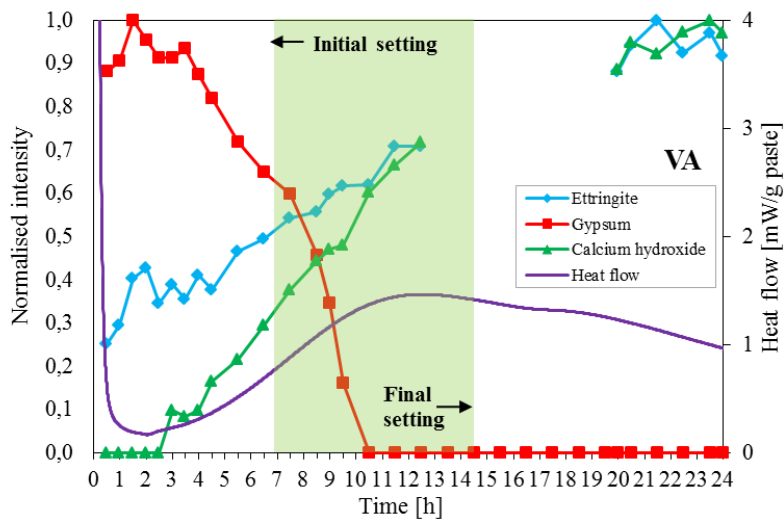
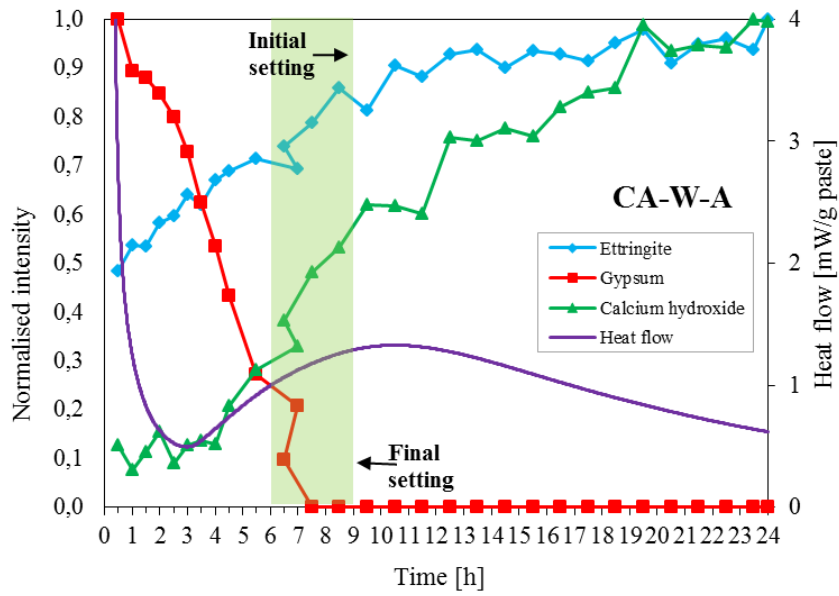
SS 134204:2014 *Cement - Sammansättning, och fordringar för nationella sulfatresistenta ordinära cement (NSR)*

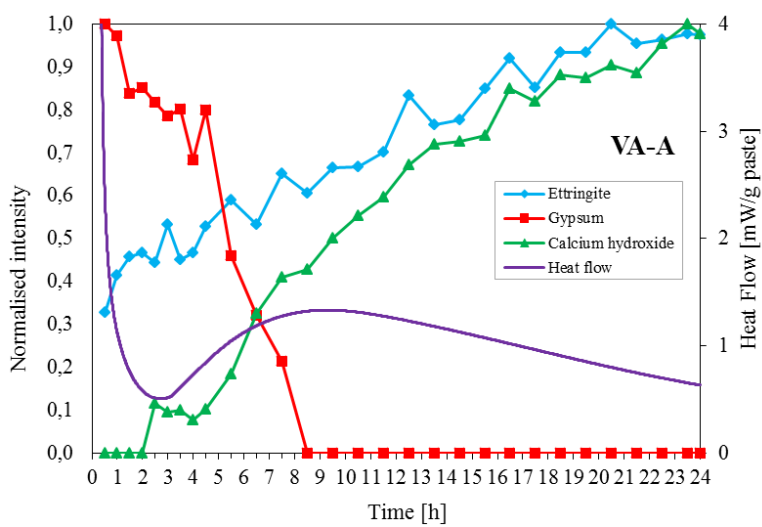
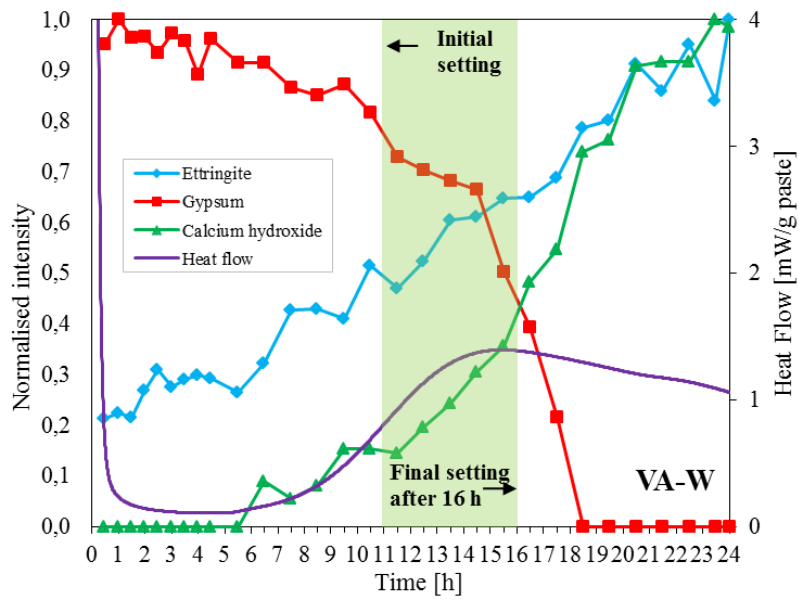
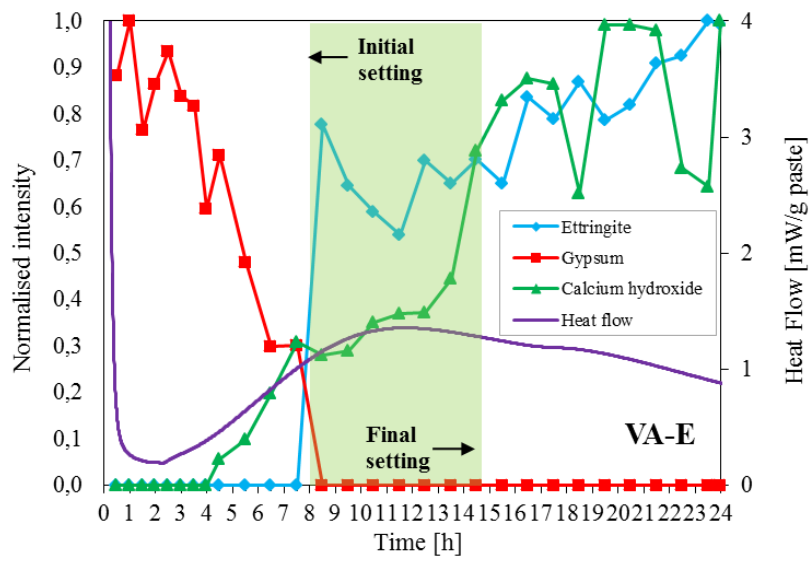
NT Build 492 *Concrete, mortar and cement based repair materials: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments (1999)*

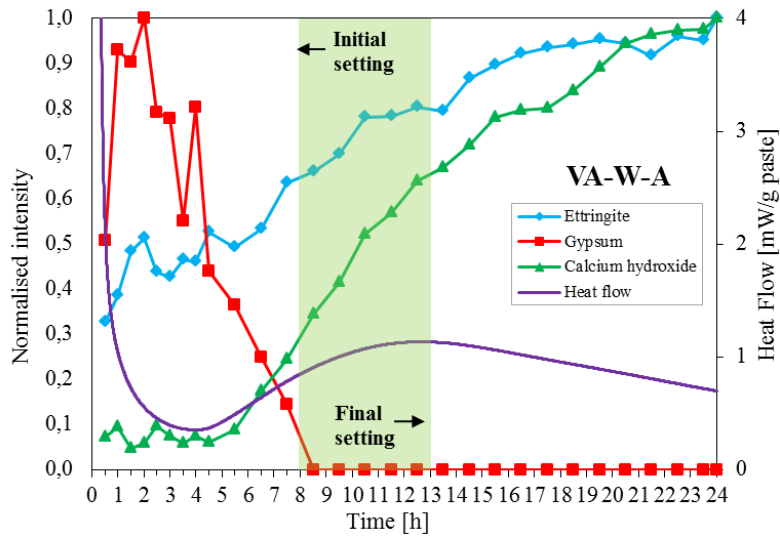
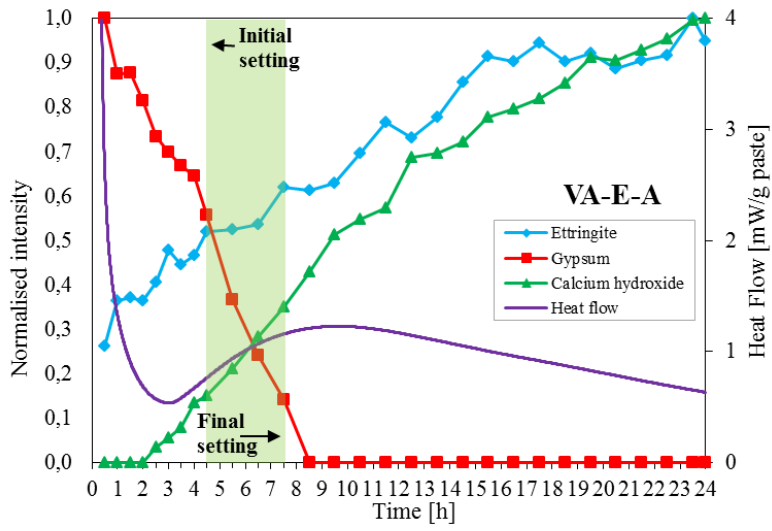
Bilaga A: Normaliserad fasutveckling, bindetid och värmeutveckling.











Bilaga B: Mätresultat – Tryckhållfasthet, bruk

CA	sp1	sp2	sp3	sp4	sp5	sp6	Mean value [N/mm ²]	Standard deviation [N/mm ²]
	1	16,5	16,8	16	16	16,2	15,9	16,233
2	27,6	27,5	27,2	27,5	27,20	27,1	27,350	0,207364414
7	48,1	48,6	47,4	47,60	47,20	46,6	47,583	0,699761864
28	64,7	67	64,8	64,00	63,90	67,4	65,30	1,520526225
CA-E	sp1	sp2	sp3	sp4	sp5	sp6	Mean value [N/mm ²]	Standard deviation [N/mm ²]
	1	11,5	12,1	10,8	11,9	11,3	11,5	11,517
2	20,6	20,5	20,3	20,9	20,70	20,6	20,600	0,2
7	35,1	35,4	35,7	34,40	35,30	36	35,317	0,549241902
28	49,5	49,5	49,6	50,10	49,40	49,7	49,63	0,250333111
CA-W	sp1	sp2	sp3	sp4	sp5	sp6	Mean value [N/mm ²]	Standard deviation [N/mm ²]
	1	8,7	8,9	9,2	8,7	9,4	9	8,983
2	18,5	17,9	18,5	17,6	18,60	18	18,183	0,407021703
7	32,5	32,7	32,4	32,80	32,40	33,4	32,700	0,379473319
28	44,3	45,2	42,5	44,30	44,60	43,7	44,100	0,923038461
CA-E-A	sp1	sp2	sp3	sp4	sp5	sp6	Mean value [N/mm ²]	Standard deviation [N/mm ²]
	1	11,4	11,5	11,7	11,5	11,9	11,4	11,567
2	20	20,3	20	20,6	19,70	20,4	20,167	0,326598632
7	37,3	38,3	37,4	38,10	38,30	37,8	37,867	0,441210456
28	53,1	50,7	50,1	52,50	52,20	52,8	51,90	1,214907404
CA-W-A	sp1	sp2	sp3	sp4	sp5	sp6	Mean value [N/mm ²]	Standard deviation [N/mm ²]
	1	11,7	11,5	12,1	11,6	12,1	11,8	11,800
2	20,1	20,2	20,9	20,5	20,50	20,2	20,400	0,296647939
7	38,7	38	38,6	39,30	38,20	39,2	38,667	0,520256347
28	56,5	56,8	55,1	58,30	55,50	55,9	56,35	1,141490254

VA	sp1	sp2	sp3	sp4	sp5	sp6	Mean value [N/mm ²]	Standard deviation [N/mm ²]
	1	13,5	13,5	13,7	13,9	13,8	14	13,733
2	25,3	24,6	25,4	24,3	25,40	25,5	25,083	0,50365332
7	42,1	39,5	40,6	40,10	42,40	40,8	40,917	1,13033918
28	58	57,2	56,5	58,00	58,70	60	58,07	1,21271046
VA-E	sp1	sp2	sp3	sp4	sp5	sp6	Mean value [N/mm ²]	Standard deviation [N/mm ²]
	1	9,9	9,7	9,8	9,8	10,2	10	9,900
2	18,5	18,1	18,9	19,3	18,20	18,5	18,583	0,44907312
7	31,7	30,4	32	31,10	32,40	31,3	31,483	0,70828431
28	45,3	44,8	44,1	46,00	45,90	46,6	45,45	0,90498619
VA-W	sp1	sp2	sp3	sp4	sp5	sp6	Mean value [N/mm ²]	Standard deviation [N/mm ²]
	1	7,5	7,5	7,8	7,7	8,2	7,6	7,717
2	17,4	17,7	16,6	17,3	16,80	17,3	17,183	0,4070217
7	31,7	31,7	31,7	31,00	31,80	32,1	31,667	0,36147845
28	44,1	44,2	44,9	45,30	45,70	45,3	44,92	0,64627136
VA-E-A	sp1	sp2	sp3	sp4	sp5	sp6	Mean value [N/mm ²]	Standard deviation [N/mm ²]
	1	8,7	8,6	8,7	8,6	8,6	8,5	8,617
2	16,9	16,4	16,5	16,7	16,50	16,5	16,583	0,18348479
7	32,5	32,1	32,5	32,70	32,70	32,2	32,450	0,25099801
28	38,6	39,1	44,2	43,70	45,00	44,9	42,58	2,93490488
VA-W-A	sp1	sp2	sp3	sp4	sp5	sp6	Mean value [N/mm ²]	Standard deviation [N/mm ²]
	1	7,6	8,1	7,6	7,9	7,8	8,1	7,850
2	16,9	17,8	17	17,4	17,20	18,1	17,400	0,46904158
7	34,2	30,2	34,3	32,80	34,30	33,1	33,150	1,58587515
28	53,8	53,3	52,6	51,70	52,60	52	52,67	0,7840068

Bilaga C: Mätresultat – Kontaktvinkel, bruk

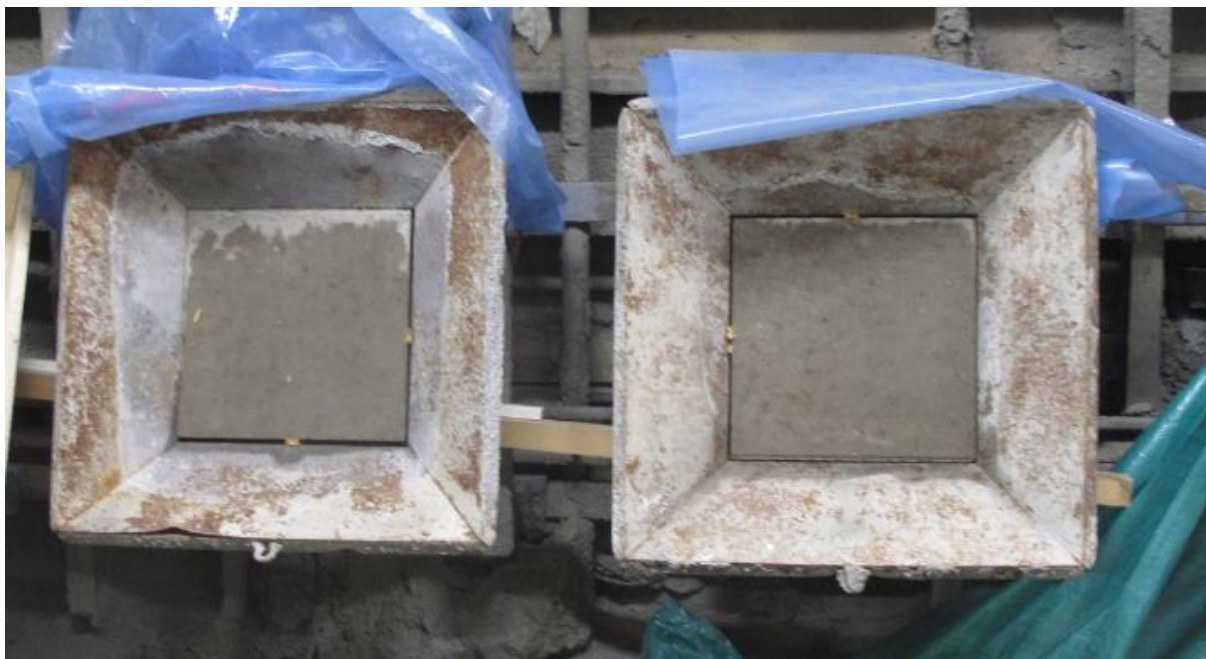
		Contact angle			start	0											
	Start	Sample	Casting date	Testing date	Contact angle 1	Contact angle 2	Contact angle 3	Contact angle 4	Contact angle 5	mean value 1	mean value 2	mean value 3	mean value 4	mean value 5	mean value	standard deviation	
CA	0	CA_1	29.03.16	2016-04-21	84,19	113,67	141,04	104,24	57,81	117,4567	108,9367	124,7933	111,7233	90,49333	110,6807	21,93468078	
		CA_2	29.03.16	2016-04-21	141,04	120,27	106,92	105,29	114,6								
		CA_3	29.03.16	2016-04-21	127,14	92,87	126,42	125,64	99,07								
CA-E	0	CA-E_1	29.03.16	2016-04-21	144,01	156,38	152,65	160,32	151,09	146,3433	152,4733	145,22	151,01	151,09	149,2273	6,204352696	
		CA-E_2	29.03.16	2016-04-21	141,73	153,58	139,43	146,18	144,92								
		CA-E_3	29.03.16	2016-04-21	153,29	147,46	143,58	146,53	157,26								
CA-W	0	CA-W_1	29.03.16	2016-04-21	149,66	155,45	145,01	90,58	96,53	148,1833	151,69	149,4033	128,7267	132,0367	142,008	20,05676309	
		CA-W_2	29.03.16	2016-04-21	141,45	146,75	148,91	148,89	152,02								
		CA-W_3	29.03.16	2016-04-21	153,44	152,87	154,29	146,71	147,56								
CA-E-A	0	CA-E-A_1	29.03.16	2016-04-21	141,42	150,67	156,83	151,1	151,76	139,81	151,1267	153,8867	149,1533	153,1067	149,4167	6,288282376	
		CA-E-A_2	29.03.16	2016-04-21	138,01	144,6	152,11	151,85	150,54								
		CA-E-A_3	29.03.16	2016-04-21	140	158,11	152,72	144,51	157,02								
CA-W-A	0	CA-W-A_1	29.03.16	2016-04-21	141,67	145,17	141,07	139,57	144,63	135,81	143,5767	139,7333	141,57	138,9633	139,9307	4,562723915	
		CA-W-A_2	29.03.16	2016-04-21	132,4	138,38	137,54	143,48	132,13								
		CA-W-A_3	29.03.16	2016-04-21	133,36	147,18	140,59	141,66	140,13								

		Sample	Casting date	Testing date	Contact angle 1	Contact angle 2	Contact angle 3	Contact angle 4	Contact angle 5	mean value 1	mean value 2	mean value 3	mean value 4	mean value 5	mean value	standard deviation
VA	0	VA_1	30.03.16	2016-04-21	39,47	29,28	29,88	38,83	86,46	59,44	48,09667	67	54,43	79,73	61,73933	26,0737439
		VA_2	30.03.16	2016-04-21	63,34	59,85	73,29	98,49	99,65							
		VA_3	30.03.16	2016-04-21	75,51	55,16	97,83	25,97	53,08							
VA-E	0	VA-E_1	30.03.16	2016-04-21	139,99	149,25	144,28	144,87	144,23	140,24	148,14	142,0133	142,0633	137,8333	142,058	4,639225921
		VA-E_2	30.03.16	2016-04-21	138,07	147,21	139,03	144,29	134,53							
		VA-E_3	30.03.16	2016-04-21	142,66	147,96	142,73	137,03	134,74							
VA-W	0	VA-W_1	30.03.16	2016-04-21	135,89	143,48	139,21	138,83	139,4	136,54	139,6433	140,4533	138,3567	138,61	138,7207	4,404868194
		VA-W_2	30.03.16	2016-04-21	137,89	136,81	140,94	139,23	148,53							
		VA-W_3	30.03.16	2016-04-21	135,84	138,64	141,21	137,01	127,9							
VA-E-A	0	VA-E-A_1	30.03.16	2016-04-22	139,34	152,85	146,21	153,16	148,59	137,3733	151,5067	146,34	152,2367	147,4433	146,98	5,719221975
		VA-E-A_2	30.03.16	2016-04-22	136,24	151,64	147,03	149,95	149,54							
		VA-E-A_3	30.03.16	2016-04-22	136,54	150,03	145,78	153,6	144,2							
VA-W-A	0	VA-W-A_1	30.03.16	2016-04-22	152,02	143,71	156,02	154,19	150,47	154,2933	149,8733	151,95	147,5233	146,1267	149,9533	5,846434404
		VA-W-A_2	30.03.16	2016-04-22	146,77	152,9	150,17	143,39	146,45							
		VA-W-A_3	30.03.16	2016-04-22	164,09	153,01	149,66	144,99	141,46							

Bilaga D: Mätresultat – Vidhäftningshållfasthet, utdragsprov, betong

	N	(Mpa)	Point of break
BCA-A-2	1	3,2	Between the two layers
	2	2,9	Lower layer
	3	2,6	Lower layer
	4	-	Fell off during drilling
	5	3,25	Upper side close to the glue
BCA-A-1	1	2,8	Upper side close to the glue
	2	2,9	Upper layer
	3	3,2	Upper side close to the glue
	4	3,2	Upper side close to the glue
	5	-	Fell off during drilling
		3,01	
BCA-W-A-1	1	2,65	Upper side close to the glue
	2	3,1	Upper side close to the glue
	3	2,9	Upper side close to the glue
	4	3,4	Upper side close to the glue
	5	2,1	Upper side close to the glue
BCA-W-A-2	1	3,4	Upper side close to the glue
	2	2,86	Upper layer close to the compound point
	3	3,1	Upper side close to the glue
	4	2,7	Lower layer
	5	2,9	Upper side close to the glue
		2,91	
BCA-E-A-2	1	-	Fell off during drilling
	2	3	Upper side close to the glue
	3	4,7	Upper side close to the glue
	4	-	Fell off during drilling
	5	1,25	Between the two layers
BCA-E-A-1	1	1,9	Upper side close to the glue
	2	<1	Fail directly in the compound point
	3	-	Fell off during drilling
	4	-	
	5	-	
		2,71	

Bilaga E: Bilder från provsprutning



Formar med betongplatta i botten







Utan hydrofoberingsmedel



Med hydrofoberingsmedel W



Utan hydrofoberingsmedel



Med hydrofoberingsmedel W



Utan hydrofoberingsmedel



Med hydrofoberingsmedel W



Utan hydrofoberingsmedel



Med hydrofoberingsmedel W

Bilaga F: Mätresultat –Vidhäftningshållfasthet, sprutbetong

	N	F (N)	(Mpa)	Point of break
Without W	1	4789	0,61	To the glue
	2	5864	0,75	Plate near to the bond area
	3	6540	0,83	Plate near to the bond area
	4	5865	0,75	Plate near to the bond area
	5	6912	0,88	Plate near to the bond area
	6	5896	0,75	To the glue
	Avg	5977,67	0,76	
	Std		0,08	
With W	1	5871	0,75	to spray concrete
	2	5091	0,65	to spray concrete
	3	6155	0,78	to the glue
	4	4400	0,56	Exactly to the bond area
	5	7055	0,9	Plate near to the bond area
	6	5825	0,74	Plate near to the bond area
	Avg	5732,83	0,73	
	Std		0,11	

Bilaga G – Mätresultat – Kontaktvinkel, sprutbetong

1.1				2.1	
Spot	$\Delta x.(^\circ)$			Spot	$\Delta x.(^\circ)$
1	30,96			1	21,52
2	26,79			2	18,31
3	42,50			3	19,69
4	28,65			4	17,47
5	35,13			5	43,04
Mean	32,81			Mean	24,01
STDV	6,25			STDV	10,75
1.2				2.2	
Spot	$\Delta x.(^\circ)$			Spot	$\Delta x.(^\circ)$
1	45,58			1	21,46
2	21,77			2	17,66
3	24,48			3	21,46
4	25,82			4	22,65
5	28,21			5	18,81
Mean	29,17			Mean	20,41
STDV	9,46			STDV	2,08
1.3				2.3	
Spot	$\Delta x.(^\circ)$				$\Delta x.(^\circ)$
1	32,20			1	42,10
2	36,66			2	30,58
3	35,36			3	32,05
4	23,66			4	25,12
5	20,51			5	20,38
Mean	29,68			Mean	30,05
STDV	7,21			STDV	8,17
All 3 spec.				All 3 spec.	
Mean	30,55			Mean	24,82
STDV	7,64			STDV	7,00

Bilaga H: Mätresultat – Kloridinträngning, sprutbetong

Provning för Kloridmigrationskoefficient enligt NT BUILD 492				
Uppdragsgivare:	CBI			
Uppdragsnr:	6P00011-01			
ProviD:	Sprutbetong - icke hydrofoberad			
Ålder vid provstart, dygn:	140			
Provnings datum:	2017-05-09			
Prov av:	FM			
Medelvärde av D_{NTB492} :	6,9	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Standard avvikelse:	1,4	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Variationskoefficient:	20,1	%		
Provmärkning	1	2	3	
Diameter d	100	100	100	mm
Tjocklek L	51,0	51,0	51,0	mm
Kloridkoncentration c_0	10	10	10	NaCl%
Spänning U	25,0	25,0	25,0	V
Strömstyrka vid start I_i	51	65	58	mA
Temperatur vid start T_i	293,6	293,6	293,6	K
Provnings löptid t	24,0	24,0	24,0	hr
Strömstyrka vid slut I_t	53	66	59	mA
Temperatur vid slut T_t	295,7	295,7	295,7	K
Genomsnittsinträngningsdjup x_d	11,2	15,4	11,6	mm
Migrationskoefficient D_{NTB492}	6,0	8,5	6,2	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Utvidgad mätosäkerhet ($k=2$)	0,27	0,30	0,27	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Individuella kloridinträngningsdjup				
Inträngningsdjup x_{d1}	12,4	12,4	11,9	mm
Inträngningsdjup x_{d2}	10,3	17,7	13,2	mm
Inträngningsdjup x_{d3}	11,1	13,8	10,3	mm
Inträngningsdjup x_{d4}	10,9	12,9	11,2	mm
Inträngningsdjup x_{d5}	10,5	13,6	10,6	mm
Inträngningsdjup x_{d6}	11,1	16,2	11,9	mm
Inträngningsdjup x_{d7}	11,8	21,0	11,9	mm
Anteckningar				

**Provning för Kloridmigrationskoefficient
enligt NT BUILD 492**

Uppdragsgivare:	CBI			
Uppdragsnr:	6P00011-01			
ProvID:	Sprutbetong - Hydrofoberad			
Ålder vid provstart, dygn:	149			
Provnings datum:	2017-05-18			
Provav:	FM			
Medelvärde av D_{NTB492}:	9,8	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Standard avvikelse:	0,8	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$		
Variationskoefficient:	8,0	%		
Provmärkning	42738	42769	42797	
Diameter d	100	100	100	mm
Tjocklek L	50,0	50,0	50,0	mm
Kloridkoncentration c_0	10	10	10	NaCl%
Spänning U	20,0	20,0	20,0	V
Strömstyrka vid start I_i	68	64	56	mA
Temperatur vid start T_i	294,6	294,6	294,6	K
Provnings löptid t	24,0	24,0	24,0	hr
Strömstyrka vid slut I_t	61	59	52	mA
Temperatur vid slut T_t	294,7	294,7	294,7	K
Genomsnittsinträngningsdjup x_d	15,8	14,5	13,7	mm
Migrationskoefficient D_{NTB492}	10,7	9,7	9,1	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Utvidgad mätosäkerhet ($k=2$)	0,41	0,40	0,39	$\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
Individuella kloridinträngningsdjup				
Inträngningsdjup x_{d1}	15,8	13,5	13,9	mm
Inträngningsdjup x_{d2}	16,8	15,6	14,1	mm
Inträngningsdjup x_{d3}	17,7	16,5	14,2	mm
Inträngningsdjup x_{d4}	17,6	14,4	13,8	mm
Inträngningsdjup x_{d5}	14,6	13,9	14,5	mm
Inträngningsdjup x_{d6}	14,3	13,9	14,1	mm
Inträngningsdjup x_{d7}	14,0	13,9	11,6	mm
Anteckningar				

