

SBUF Projekt nr 12001

Pågjutningar av stålfiberarmerad självkompakterande betong – sprickbegränsning och vidhäftning



Sammanfattning och rekommendationer

Förord

I rapporten sammanfattas de viktigaste resultaten från arbetet som har utförts inom SBUF projekt nr 12001. Här ges även rekommendationer för utförande av tunna pågjutningar på betongunderlag baserat på det arbete som har utförts inom projektet, som beskrivs mer utförligt i fyra delrapporter.

I den första delrapporten beskrivs laboratorieförsök där en rad olika parametrars betydelse för vidhäftningen mellan nygjuten betong och äldre betongunderlag har undersökts. I delrapport 2 återfinns resultat från två relativt storskaliga försök med tunna pågjutningar på HD/F-plattor. Den tredje delrapporten sammanfattar några uppföljningar som gjorts vid verkliga pågjutningar medan den fjärde och sista delrapporten innehåller en sammanställning av resultat från en minienkät som genomfördes bland projektets deltagare för att ta del av deras syn på hur olika faktorer påverkar vidhäftningen.

Ansvarig för projektet är Björn Syvertsen, Betongteknik i Nacka AB medan Mats Emborg, Betongindustri AB är projektledare. Övriga deltagare i projektet har varit Peder Andersson, Mariekälla Bygg & Transport AB, Örjan Pettersson, Strängbetong AB samt Jonas Carlswärd, Betongindustri AB.

Göteborg den 15 maj 2017

Jonas Carlswärd
Betongindustri AB

Innehållsförteckning

1	Inledning	4
1.1	Bakgrund.....	4
1.2	Syfte.....	4
1.3	Genomförande	4
2	Vidhäftningsförsök.....	6
2.1	Försöksbeskrivning	6
2.2	Resultat.....	7
2.3	Slutsatser	9
3	Halvskaleförsök – Pågjutning på HD/F	10
3.1	Bakgrund.....	10
3.2	Försöksbeskrivning	10
3.3	Resultat.....	11
3.3.1	Kållered	11
3.3.2	Nykvarn.....	14
3.4	Slutsatser	17
4	Fullskaleuppföljningar.....	18
4.1	Försöksbeskrivning	18
4.2	Resultat.....	18
4.2.1	Pågjutning plan 0	18
4.2.2	Pågjutning på plan 1.....	18
4.3	Slutsatser	19
5	Minienkät om vidhäftningspåverkande faktorer.....	20
5.1	Inledning	20
5.2	Resultat.....	20
5.3	Slutsatser	20
6	Rekommendationer	21
6.1	Förbehandling av underlag.....	21
6.2	Val av betong	21
6.3	Armering	21
6.4	Härdning	21

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Tunna pågjutningar av betong är vanligt förekommande vid byggande med håldäckselement (HD/F) och TT-kassetter, där ett tunt skikt ofta läggs för att jämna av överytan, samt vid reparationer och renoveringar av exempelvis gamla betonggolv. Tyvärr är tunna pågjutningar även ett välkänt problemområde. Vanligt förekommande är att pågjutningar släpper från underlaget, att kanter reser sig och ibland omfattande sprickbildning.

Ett stort problem idag är att många viktiga detaljer om pågjutningen ofta helt utelämnas i bygghandlingarna. Den enda informationen som entreprenörer har att rätta sig efter i många projekt är vilken nivå som den färdiga ytan skall ha samt eventuellt om det finns några yt- och planhetskrav. Med tanke på den höga skadefrekvensen tar entreprenörer därmed inte gärna på sig ansvar för att besvärande sprickbildning eller kantresningar inte kommer att uppstå.

Det är därmed lätt att inse att behovet av att ta fram anvisningar för hur tunna pågjutningar skall utföras är stort. Detta var också skälet till att aktuellt projekt beviljades finansiering av SBUF.

1.2 Syfte

I ansökan och projektplanen som utarbetades för aktuellt projekt angavs att projektets huvudsyfte var *att skapa ett underlag för rekommendationer som kan användas vid design och utförande av tunna pågjutningar.*

För att kunna nå detta huvudmål identifierades följande delsyften:

- att utreda stålfiberbetongs förmåga till sprickbegränsning
- att undersöka hur underlaget bör förbehandlas för att säkerställa hög/jämn vidhäftning
- att utreda om/hur valet av pågjutningsbetong påverkar vidhäftningen.
- att studera om olika typer av betong har olika sprickkänslighet (jämförelse högpresterande betong/vanlig husbyggnadsbetong/krympreducerad betong)

1.3 Genomförande

För att uppnå de målsättningar som beskrivs ovan genomfördes följande försöksserier inom projektet:

1. Vidhäftningsförsök - syftar till att studera olika faktorerens betydelse för vidhäftningen
2. Halvskaleförsök - pågjutning på HD/F-element utförs för att undersöka inverkan av bland annat förbehandling, betongtyp, armering, härdning mm på vidhäftning och spricktillväxt
3. Uppföljning av verkligt projekt

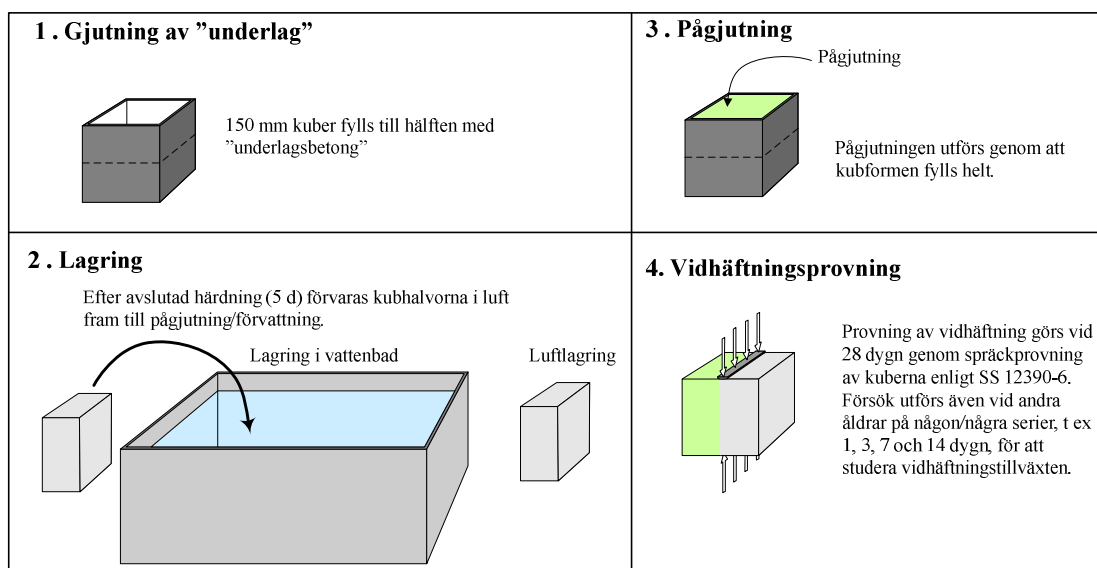
Inom projektet genomfördes även en minienkät som syftade till att sammanställa projektdeltagarnas erfarenheter av vilka faktorer som har betydelse vid utförande av tunna pågjutningar. En sammanfattning av ovan nämnda försök och uppföljningar samt de viktigaste resultaten och slutsatserna presenteras i aktuell rapport. I rapporten redovisas även rekommendationer som ges i aktuellt SBUF-projekt baserat på resultat från samtliga försök och uppföljningar.

Mer detaljerade beskrivningar av de olika försök som har genomförts inom projektet återfinns i Delrapport 1-4.

2 Vidhäftningsförsök

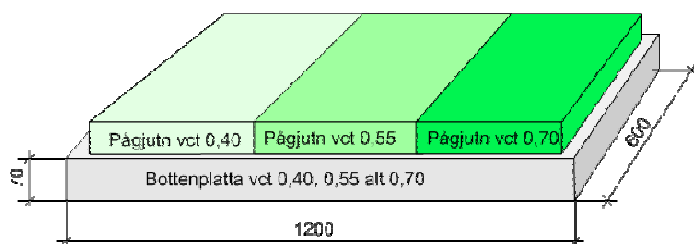
2.1 Försöksbeskrivning

Två olika typer av försök genomfördes i laboratorium för att studera vidhäftning mellan två betongskikt. Syftet med försöken var att under väldigt kontrollerade laboratorieförhållanden utreda hur olika typer av förbehandling och val av betongkvalitet hos underlag och pågjutning påverkar vidhäftningen. Den ena typen av försöksuppställning innebar att en kubform först gjöts upp till hälften med betong (1 i Figur 1). Efter härdning och eventuell förbehandling fylldes därefter resterande del av kuben med "pågjutningsbetong" (2 i figuren). Kuben förvarades därefter täckt med plastfolie under några dygn innan den placerades i vattenbad fram till en ålder av 28 dygn. Vidhäftningen utvärderades slutligen genom spräckning i enlighet med SS-EN 12390-6.



Figur 1 – Små pågjutningar gjordes i kubformar som senare spräcktes för verifiering av vidhäftningsnivån.

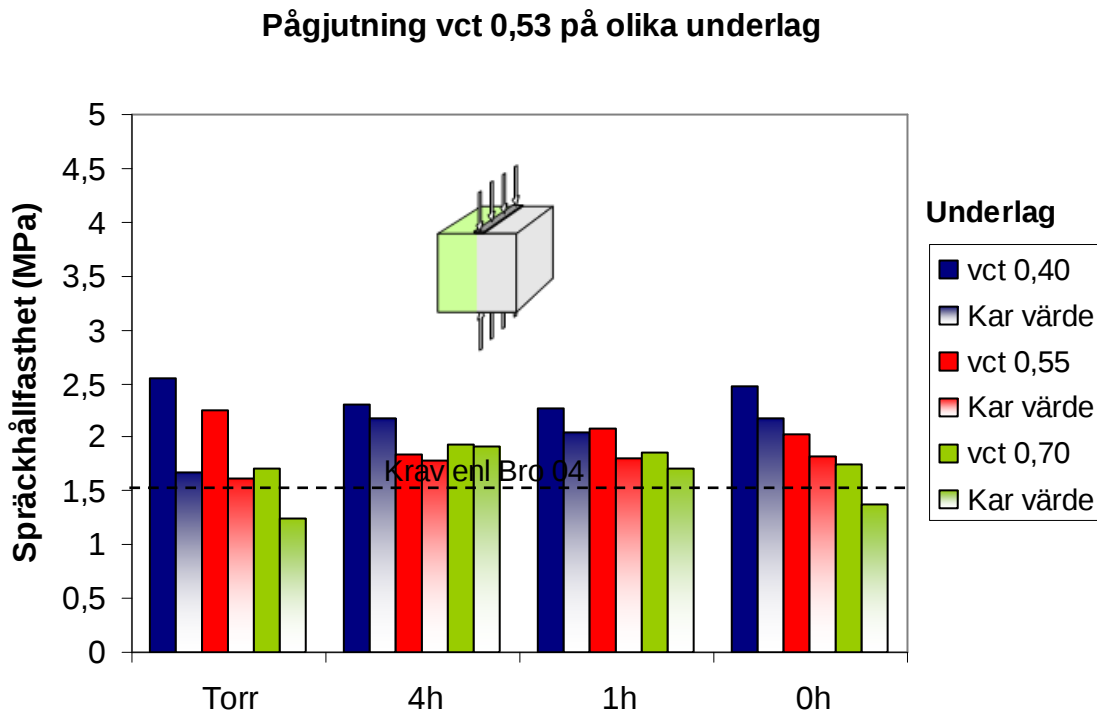
Den andra typen av försök som utfördes i laboratorium utgjordes av mer verklighetstroga pågjutningar som utfördes på tidigare tillverkade betongplattor med måtten 1200x600x70 mm, se Figur 2. Enligt figuren var bottenplattorna tillverkade med tre olika betongkvaliteter, vct 0,40, 0,55 och 0,70. Samma kvaliteter användes senare även vid pågjutning. Övriga faktorer som studerades var hur olika förbehandlingar av underlaget påverkade vidhäftningen mellan de två skikten. De förbehandlingar som undersöktes var torrt, förvattnat utan torkning respektive med torkning i 17 h, primning med olika utspädning 1:1 respektive 1:3 utfört ca 4 timmar före pågjutning.



Figur 2 – Småskaliga pågjutningar utfördes på betongplattor. Betongkvaliteten i såväl bottenplattor som pågjutningar varierades.

2.2 Resultat

Resultat från den förstnämnda typen av provning (spräckning) redovisas i Figur 3. I diagrammet visas resultat för fyra olika typer av fuktmätnad hos motgjutningsytan, torr respektive förvattning i ett dygn med efterföljande torkning i 0, 1, alternativt 4 h innan pågjutning. Som synes erhöles inga stora skillnader mellan de olika förbehandlingsalternativen. Med ledning av att man i andra försök har kunnat observera större skillnader drogs slutsatsen att denna typ av försök inte ger en representativ bild av vidhäftning mellan två betongskikt.



Figur 3 – Vidhäftning utvärderad genom spräckning av kuber (se Figur 1). Underlagets vct var 0,40, 0,55 och 0,70 medan pågjutning gjordes med SKB med vct 0,53. I figuren redovisas medelvärde och karakteristiskt värde ($Kar = mv - 1,4 \cdot s$, där s är standardavvikelse).

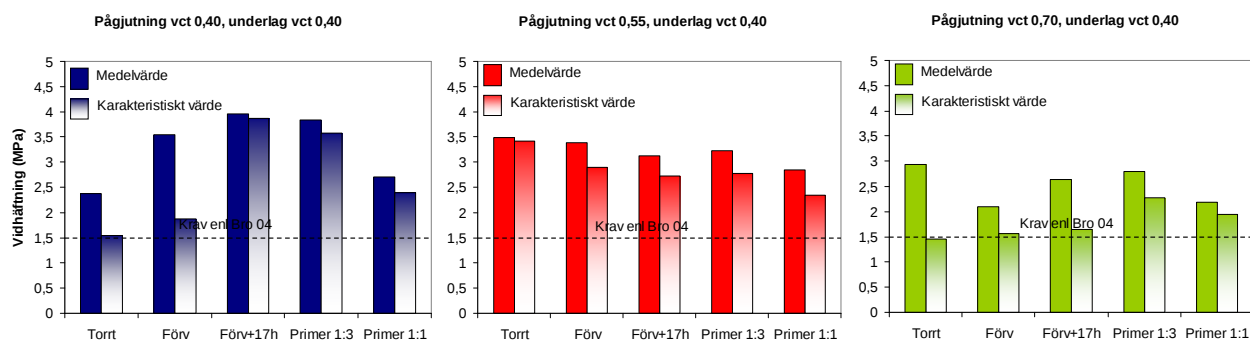
Vid den andra typen av provning utvärderades vidhäftningen genom utdragsförsök. Som synes i Figur 4 utfördes tre vidhäftningsprov i varje pågjutningsdel. Resultat från denna typ av provningsutförande redovisas i Figur 5 och Figur 6. I den första figuren visas resultat vid pågjutning på ett underlag som utgjordes av betong med lågt vct (0,40), medan den andra figuren (Figur 6) visar vidhäftning som uppmättes vid pågjutning på betongunderlag med högt vct (0,70). Det som benämns karakteristiskt värde i diagrammen baseras på tre resultat och är beräknat med följande formel: $f_k = mv - 1,4 \cdot s$, där f_k är "karakteristiskt" värde, mv medelvärde och s standardavvikelse. Även om underlaget såklart inte är så stort så ger detta värde en uppfattning om variationen i vidhäftning.



Figur 4 – Vidhäftning provades genom utdragsförsök. Totalt tre prov utfördes i varje pågjutningsdel.

Om man utgår från pågjutning mot ett relativt tätt underlag (betong med vct 0,40 i Figur 5) så framgår det att vidhäftningsnivån egentligen blir ganska hygglig oavsett vilken förbehandling som väljs och vilken betong som används vid pågjutning. Det som kan vara värt att notera är att pågjutning med betong med vct 0,55 verkar vara den säkraste metoden att nå en hygglig vidhäftningsnivå. För denna pågjutningsbetong (röda staplar i Figur 5) verkar inte förbehandlingen ha spelat så stor roll.

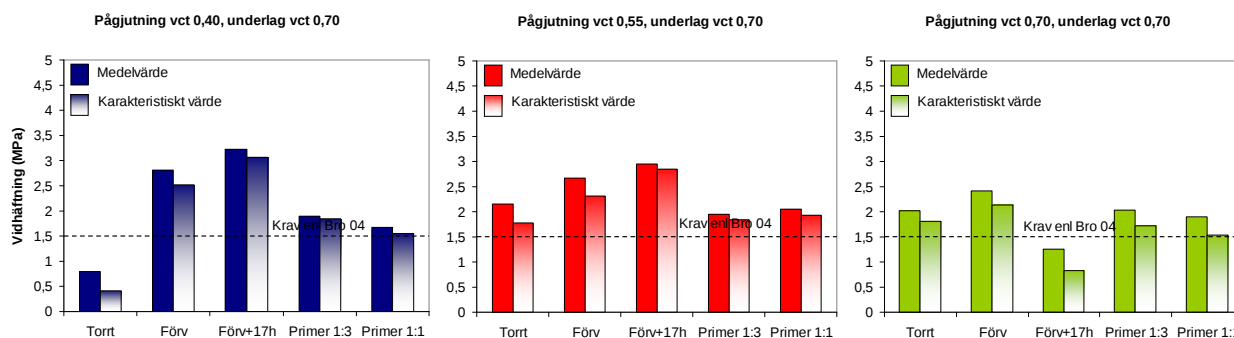
Om man däremot använder en pågjutningsbetong med lågt vct (diagram till vänster med blå staplar) verkar det vara viktigare att välja rätt förbehandlingsmetod. De "sämsta" metoderna i aktuell undersökning om man utgår från "karakteristiska" värden visade sig vara torrt underlag och förvattnat utan torkperiod (Förv i diagrammet).



Figur 5 – Vidhäftning uppmätt hos olika typer av betong vid pågjutning på betongunderlag med lågt vct och för olika förbehandlingsmetoder.

Vid pågjutning på ett mer öppet och sugande underlag (vct 0,70) kan man konstatera att den situation som gav den allra sämsta vidhäftningen i aktuell undersökning var vid gjutning med betong med vct 0,40 på ett torrt underlag. Detta var den enda kombination som resulterade i att kravnivån i Bro 04 på 1,5 MPa inte uppnåddes. En möjlig förklaring till detta är att en betong med lågt vct är känsligare än betong med högre vct för en situation där underlaget är kraftigt sugande.

Noterbart är även att förvattning, oavsett utförande, generellt gav bättre resultat än primning för underlag med vct 0,70. Undantaget är vid pågjutning med betong med vct 0,70 (gröna staplar) där förvattning med 17 h torkperiod helt ologiskt gav lägst vidhäftningsnivå.



Figur 6 – Vidhäftning uppmätt hos olika typer av betong vid pågjutning på betongunderlag med lågt vct och för olika förbehandlingsmetoder.

2.3 Slutsatser

Huvudsyftet med utredningen var att ta reda på vilken typ av förbehandling som är mest lämplig samt att utreda om och i så fall på vilket sätt valet av pågjutningsbetong påverkar vidhäftningen. Med tanke på att resultaten inte var helt logiska så är det såklart inte så lätt att dra slutsatser. En sak som man kan konstatera är dock att när det gäller val av **försöksmetodik** så är det helt klart att det ur ett kostnads- och utförandeperspektiv är klart fördelaktigt att utföra vidhäftningsprovning genom spräckning av kuber. Tyvärr indikerade resultat från aktuella studier att denna typ av provning sannolikt inte ger så rättvisande resultat. Därmed kan man konstatera att vidhäftning bör utvärderas genom någon form av utdragsprovning.

När det gäller val av metodik för att säkerställa god vidhäftning kan man dra några slutsatser baserat på resultat från utdragsprovningarna. Optimal typ av förbehandling verkar bero till viss del av underlaget. För **sugande underlag** (betong med vct 0,70) tyder resultaten på att man i första hand bör välja förvattning. Primning gav generellt lägre vidhäftningsvärden även om nivån överlag var ganska hygglig. Torrt underlag gav i något fall helt obefintlig vidhäftning och bör därmed undvikas om man skall gjuta på sugande underlag. Resultatet indikerar även att för lång uttorkningsperiod efter förvattning kan ge lite sämre vidhäftning.

För **täta underlag** skulle man baserat på aktuella resultat generellt kunna förordna förvattning med ca 1 dygns torkning innan pågjutning alternativt primning med utspädning 1:3 för att vara hyggligt säkra på att uppnå en god vidhäftningsnivå oavsett typ av pågjutning. Torrt underlag gav i vissa fall lite sämre resultat och större spridning och bör således undvikas. Av samma skäl bör förvattning utan tid för uttorkning innan pågjutning undvikas.

Resultaten tyder vidare på att typen av pågjutningsbetong har stor betydelse. Generellt kan man konstatera att det är säkrast ur ett vidhäftningsperspektiv att använda betong med **vct 0,55**. För denna typ av pågjutningsbetong visar resultatet att samtliga förbehandlingsmetoder gav en god och jämn vidhäftningsnivå. Även pågjutningsbetong med **vct 0,70** verkar vara relativt okänslig för val av förbehandling även om spridningen i vissa fall var något större än för betong med vct 0,55.

Betong med **lågt vct** (0,40) är sannolikt betydligt känsligare och mer beroende av vilken typ av förbehandling som väljs. För sådan betong är det framför allt väldigt viktigt att undvika pågjutning på torra underlag. Den förbehandling som är att föredra är förvattning med påföljande uttorkning före pågjutning.

3 Halvskaleförsök – Pågjutning på HD/F

3.1 Bakgrund

Laboratorieförsöken som beskrevs i föregående avsnitt visade att pågjutning på småskaliga plattor som utförs under i stort sett ideala förhållanden i laboratoriemiljö i de flesta fall ger väldigt hög vidhäftning. Med tanke på att vidhäftningssläpp är väldigt vanligt i verkligheten kan man därmed konstatera att förutsättningarna för att lyckas uppnå god vidhäftning under sådana förutsättningar är högre än i verkliga situationer.

Därför togs beslut i aktuellt projekt att utföra lite mer verklighetstroga pågjutningar under någorlunda kontrollerbara former. Eftersom pågjutningstekniken inom husbyggnadssektorn är vanlig framför allt vid byggande med håldäckselement (HD/F) och TT-kassetter bestämdes det att pågjutningsförsök skulle utföras i "halvskala" på håldäckselement. Sådana försök genomfördes därmed vid två olika tillfällen, 2009 i Kålleröd och 2010 i Nykvarn.

I aktuellt avsnitt sammanfattas de viktigaste resultaten från dessa försök.

3.2 Försöksbeskrivning

Pågjutningsförsök utfördes enligt ovan på håldäckselement vid två tillfällen. I Kålleröd 2009 genomfördes försöken i ett stort tält (se Figur 7) medan den andra serien utfördes i Strängbetongs fabrik i Nykvarn (se Figur 8). I båda fallen testades olika typer av förbehandling inför pågjutning. Vid försöken i Kålleröd användes självkompakterande betong (SKB) typ TorkBI 2 vct 0,38 med $D_{\max}$ 8 mm medan betongen som användes i Nykvarn var av typen TorkBI 4 $D_{\max}$ 8 SKB vct 0,47. Vid båda tillfällena jämfördes betong med och utan stålfibrer på ca 30 kg/m³. I Nykvarn undersöktes även effekten av nätarmering.



Figur 7 – Pågjutning på håldäckselement i Kålleröd 2009.

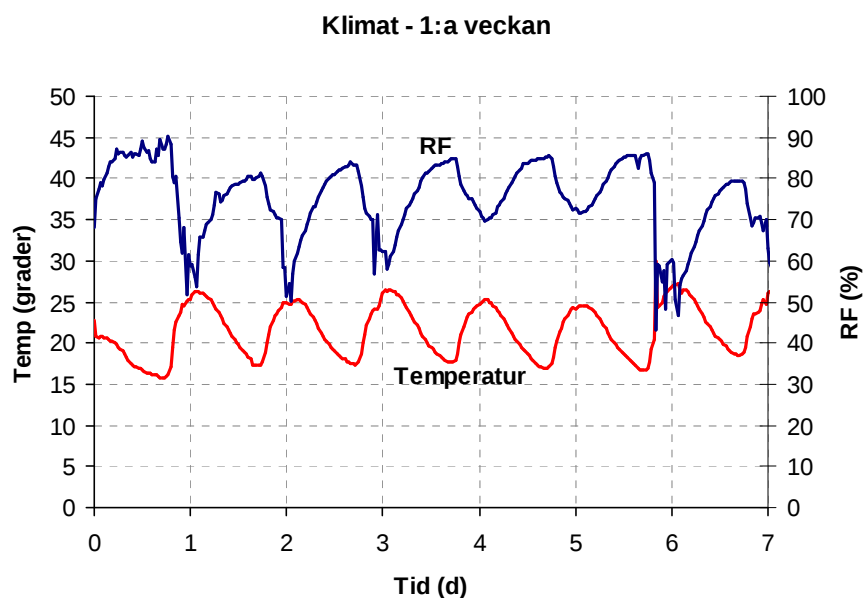


Figur 8 – Förbehandling av håldäckselement före pågjutning i Nykvarn 2010.

3.3 Resultat

3.3.1 Kållerød

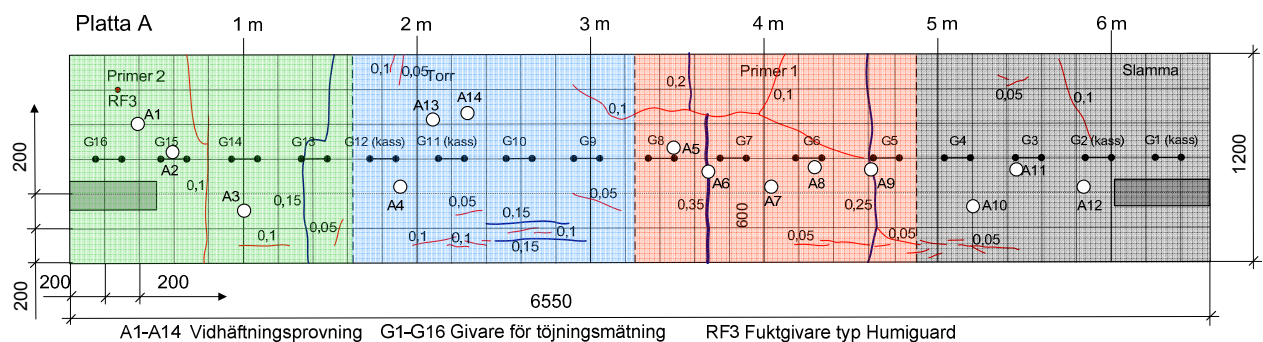
Vid försöken i Kållerød utfördes pågjutningar med tjocklek som varierade mellan 35 och 50 mm. Totalt ingick fyra HD/F-element som var och ett delades in i fyra delområden med olika förbehandling. De behandlingar som ingick var torrt underlag, förvattnat, två olika primers samt cementslamning. Utöver inverkan av förbehandling undersöktes härdningens betydelse genom att två av plattorna täcktes med plastfolie ca två timmar efter pågjutning, medan övriga två plattor lämnades helt utan härdningsåtgärder. Det visade sig dock att luftfuktigheten under den första tiden efter gjutning (se Figur 9) var relativt hög, vilket gav en hygglig härdning även för de pågjutningar som lagrades utan plastfolie. Detta hade säkert viss påverkan på resultaten i aktuell undersökning.



Figur 9 – Härdningsklimat i Kållerød under den första veckan efter pågjutning.

Sprickfördelning i pågjutningarna dokumenterades med hjälp av ett USB-mikroskop. Observerad fördelning i pågjutningen på en av de fyra plattorna (platta A) redovisas i Figur 10. Det framgår även i figuren att fyra olika förbehandlingar har använts före pågjutning på aktuell platta, slamma, två olika typer av primer samt torrt underlag. Även positioner för vidhäftningsprovning samt ungefärliga lägen för töjningsmätare redovias i figuren.

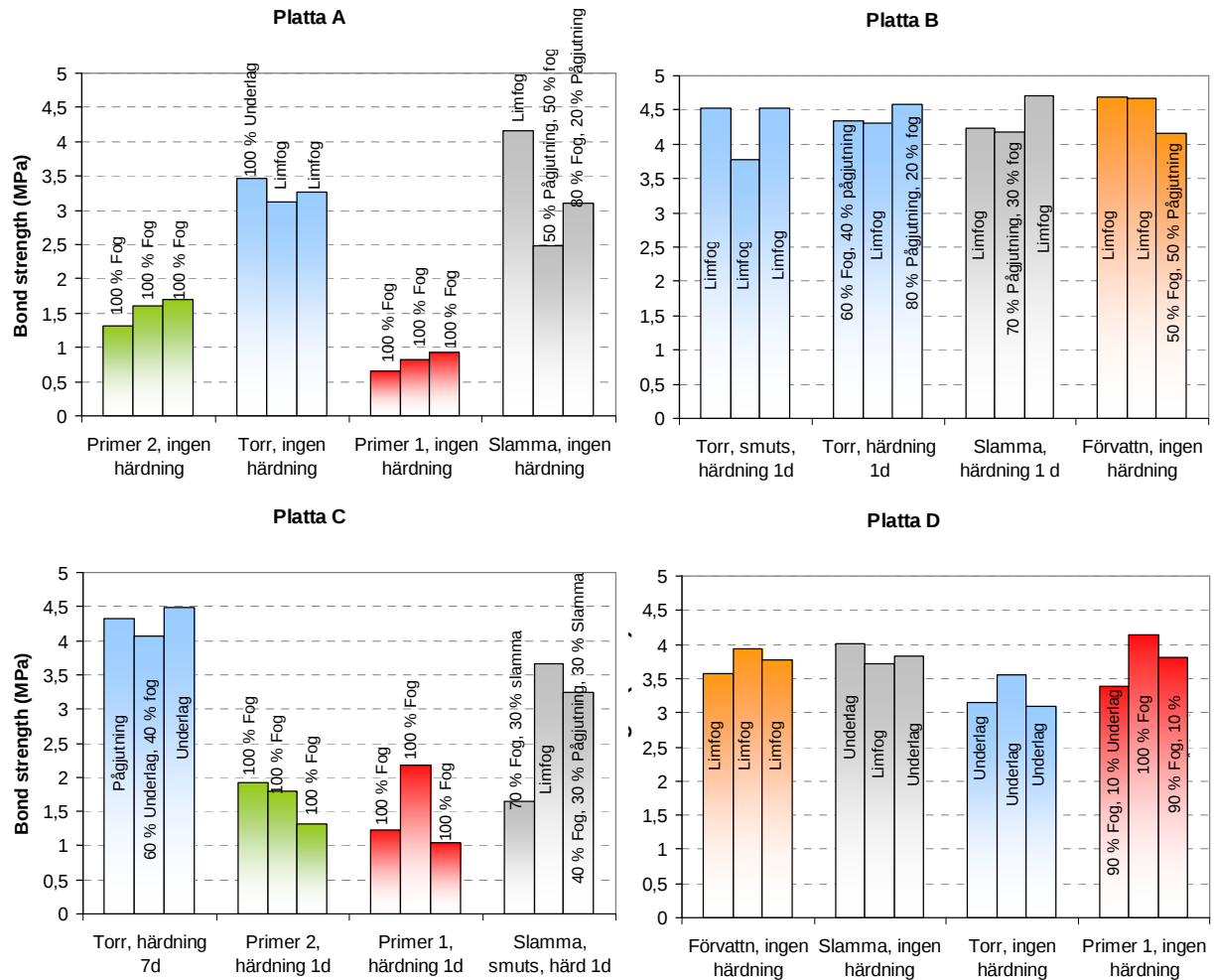
Resultaten visar att det förekommer en hel del småsprickor med vidden 0,05-0,1 mm, vilka har markerats med röd färg. Sprickor med så liten bredd innebär normalt inte något problem vaken ur estetisk synvinkel eller av beständighetsskäl. Förutom dessa små sprickor finns det däremot åtminstone tre mer distinkta sprickor (blå) som löper tvärs genom pågjutningen med en bredd på 0,15, 0,25 respektive 0,35 mm. Denna typ av sprickor skulle definitivt ge upphov till problem av olika slag i verkliga konstruktioner. Noterbart är att alla tre uppstod i de delområden som hade primats.



Figur 10 – Observerad sprickfördelning i pågjutning på platta A i slutet av försöksperioden (ca 3 månader efter gjutning).

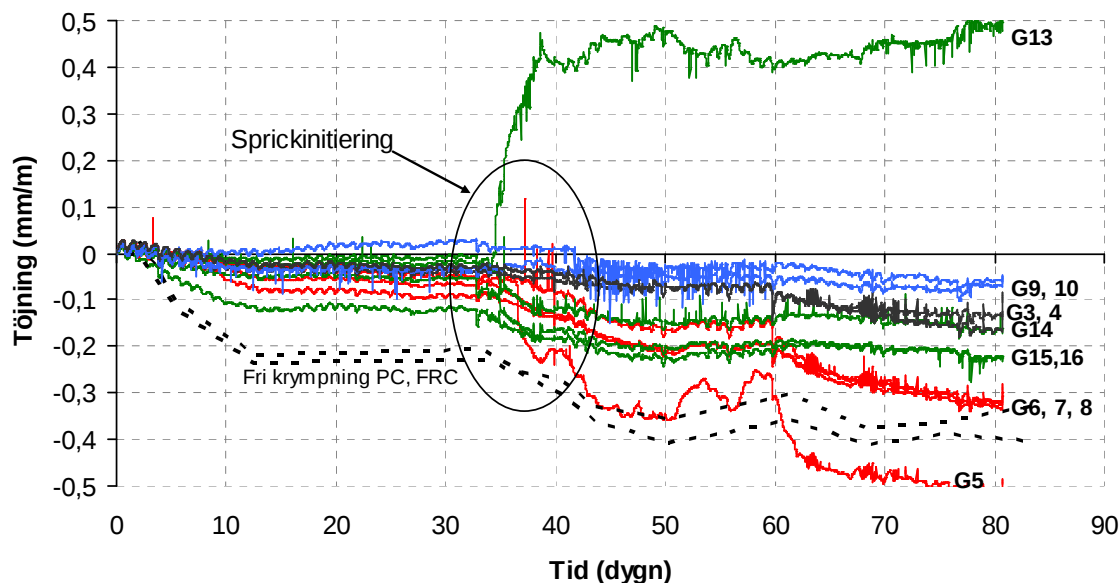
I Figur 11 redovisas uppmätt vidhäftning, baserad på utdragsprovning, i de olika delområdena och på samtliga fyra plattor. Vidhäftningen är som synes väldigt hög i de flesta fall. Ett intressant resultat är dock att vidhäftningen i platta A är klart lägst i det delområde som hade primats med primer 1 och att även delområdet med primer 2 gav relativt låg vidhäftning hos aktuell platta. Detta stämmer väl överens med att även de största sprickorna bildades inom just dessa delområden.

Det är värt att nämna att de enda större sprickor som uppstod i övriga pågjutningar uppstod inom motsvarande områden (primer 1 och 2) på platta C, vilket är de enda övriga delar med sämre vidhäftning.



Figur 11 – Uppmätt vidhäftning i samtliga pågjutningar utförda i Kålleröd.

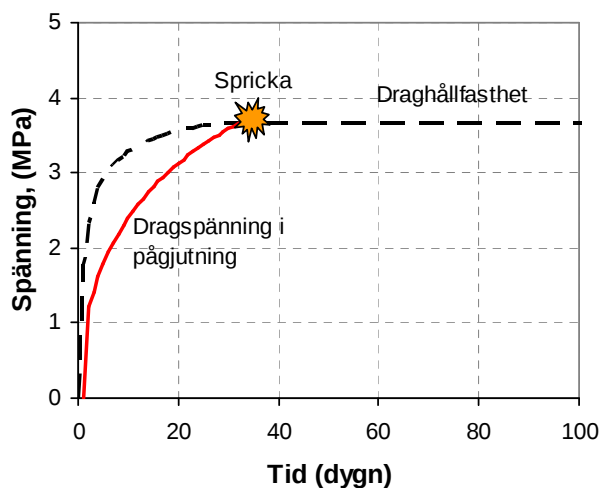
På ytan hos pågjutningen på platta A monterades töjningsmätare. Resultat från dessa mätningar redovisas i Figur 12. Intressant att notera är att det framgår ganska tydligt när sprickor börjar initieras. Töjningsmätare nr G13 fångar upp den "större" spricka som uppstod inom delområdet som hade primats med primer 2 på platta A, vilket är förklaringen till att töjningen helt plötsligt visar ett positivt värde. Övriga större sprickor i pågjutningen på platta A som uppstod i delområdet primat med primer 1 fångades inte direkt av töjningsmätningen. Man kan dock se att den negativa töjningen plötsligt ökade hos givare G5-G8 strax före 40 dygn. Orsaken är såklart att några större sprickor uppstod alldeles intill de lägen där töjningen mättes.



Figur 12 – Resultat från töjningsmätning på ytan av pågjutningen på platta A.

I aktuell undersökning genomfördes även teoretiska beräkningar för att påvisa att det går att bedöma spricktiden. Modellen som användes samt indata beskrivs detaljerat i delrapport 2 inom projektet. Beräknad dragspänningsutveckling för en viss typ av förutsättningar redovisas i Figur 13. Resultatet visar bland annat att det teoretiskt är rimligt att uppsprickning sker ca 35-40 dygn efter pågjutning i det aktuella fallet. Detta ligger helt i linje med resultaten från de töjningsmätningar som presenteras i Figur 12.

Man kan med andra ord konstatera att det är möjligt att bedöma om sprickor kommer att uppstå i en viss konstruktion. Svårigheten ligger snarare i att beräkna hur stor vidhäftning som krävs för att hindra okontrollerad spricktillväxt och vidhäftningssläpp.



Figur 13 – Teoretisk beräkning av dragspänningsutveckling i pågjutning i Kålleröd.

3.3.2 Nykvarn

Försöken i Nykvarn genomfördes något år senare inne i Strängbetongs fabrik. En skillnad var att klimatet var något tuffare än i Kålleröd. Ytterligare en sak som skilde sig var

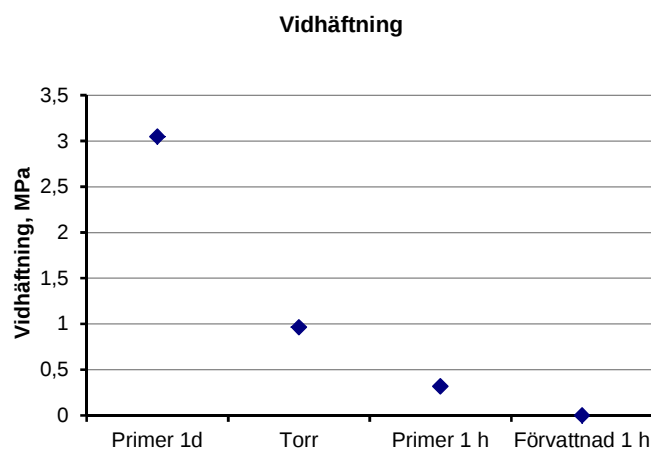
förbehandlingarna. I likhet med tidigare studier ingick visserligen torra, förvattnade och primade underlag. Skillnaden var dock att utförandet vid förvattning och priming i vissa fall utfördes så att viss pölbildning fanns kvar på underlaget i samband med pågjutning, se exempel i Figur 14. Detta är inte direkt något som brukar förordas men det bedömdes som intressant att utvärdera eftersom metodiken förekommer i verkligheten.



Figur 14 – En del av HD-/F-elementen i Nykvarn behandlades med vatten eller primer så att viss pölbildning kvarstod vid pågjutning.

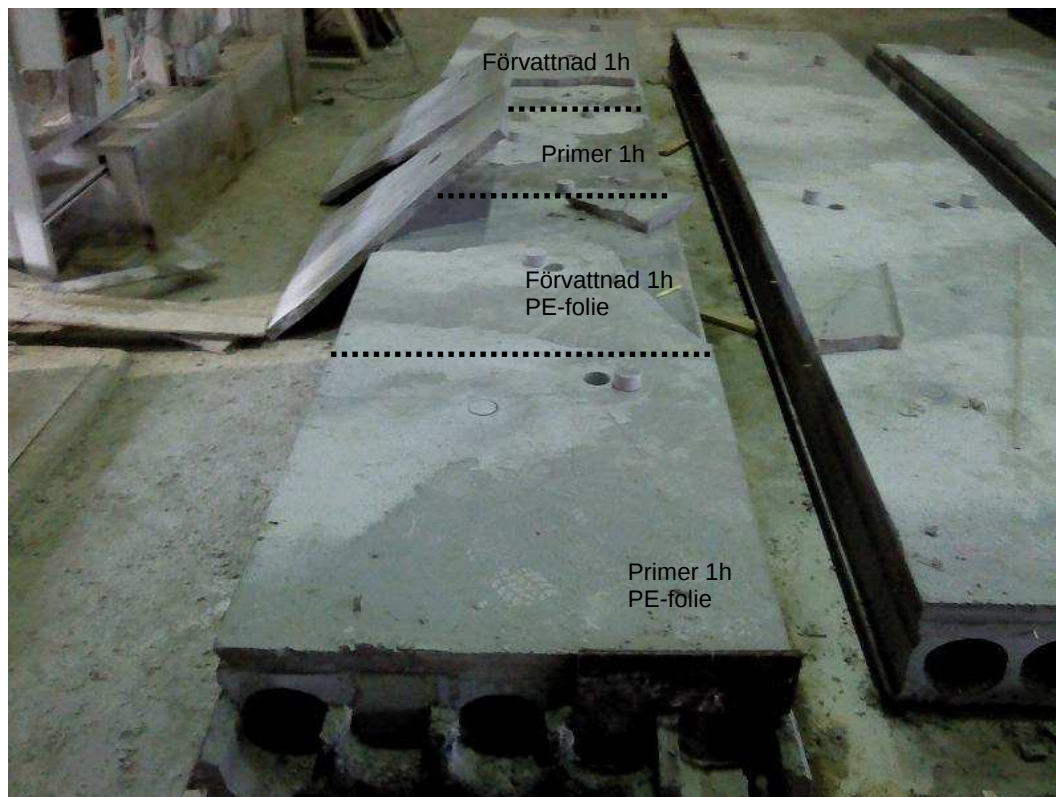
En sammanfattning av uppmätt vidhäftning i områden med olika typ av förbehandling redovisas i Figur 15. Primer 1d betyder att ytan primades dagen innan medan Primer 1h innebär primning ca 1 timme innan, vilket efterlämnade en del pölar. Torr innebär att ytan lämnades helt utan förbehandling medan Förvattnad 1h avser ytor som var vattnade och där vissa pölar kvarstod i samband med pågjutning.

Intressant att notera är att de ytor som primades i princip i enlighet med gängse rutiner, dvs någon dag i förväg, gav klart högst vidhäftning medan ytor med pölbildning gav väsentligt lägre vidhäftningsnivå. Även obehandlade, torra ytor gav relativt låg vidhäftningsnivå i aktuell studie om man jämför med resultat från tidigare undersökningar inom projektet.



Figur 15 – Uppmätt vidhäftning hos pågjutningar i Nykvarn för olika förbehandlingar.

Värt att påpeka är att vidhäftningen blev så låg inom vissa delområden att det gick att lyfta bort pågjutningen helt och hållet, se Figur 16. Just de fall som redovisas på fotot är de delar av pågjutningen som befann sig inom områden som hade förvattnats och primats och där polar kvarstod vid pågjutning.

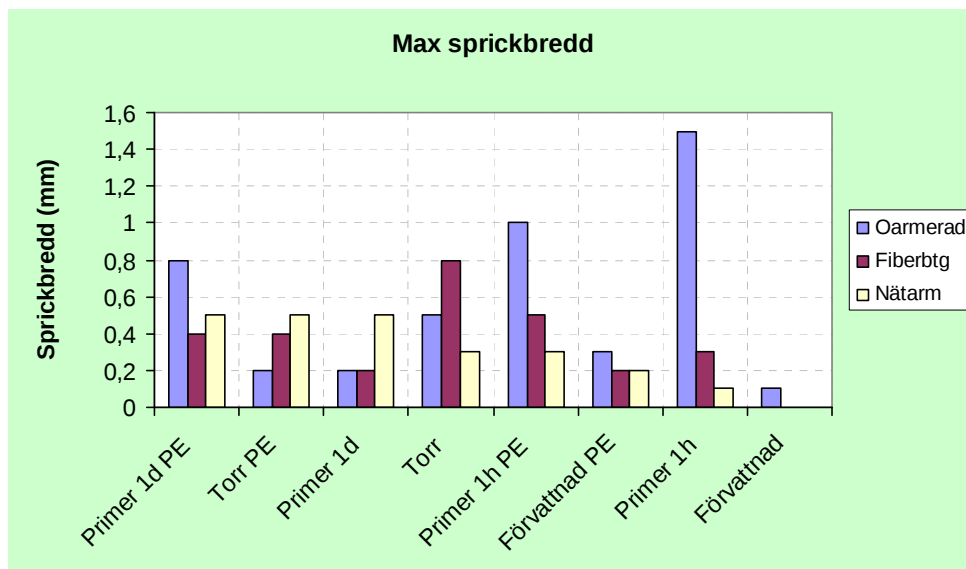


Figur 16 – Vidhäftningen blev så låg inom vissa delar att det gick att lyfta bort delar av pågjutningen helt och hållet.

Den låga vidhäftningen avspeglade sig även till viss del i att en hel del av de sprickor som uppstod blev markant större än i föregående undersökning i Kålleröd, se Figur 17. Benämningen PE i diagrammet står för att pågjutningen hölls täckt med plastfolie under några dagar. Tyvärr utfördes inte täckningen förrän dagen efter pågjutning. Detta visade sig vara alldeles för sent eftersom sprickor observerades redan innan täckning.

Hur som helst är det inte helt solklart i Figur 17 att ytorna med sämst vidhäftning också gav de största sprickorna. I vissa fall stämmer detta (t ex för ytorna benämnda primer 1h) men för de ytor som var vattnade tätt inpå pågjutning (förvattn 1h) blev maximala sprickbredder relativt små. Orsaken till detta är sannolikt kopplat till att vidhäftningen var så låg att hela pågjutningen lossnade innan större sprickzoner hann bildas.

I redovisad sammanställning i Figur 17 framgår även hur fiber- respektive nätarmering påverkade max observerad sprickbredd. Inte heller i detta avseende gav resultaten något entydigt svar. Inom vissa delområden, t ex Primer 1h med och utan PE, blev maximal sprickbredd väsentligt mindre både i nät- och stålfiberarmerad pågjutning jämfört med oarmerad pågjutning. Resultaten för en del övriga delområden gav dock lite motstridiga resultat, vilket innebär att det egentligen inte går att helt säkert dra slutsatsen att nät eller stålfibrer, av de sorter och mängder som användes i aktuell studie, var bättre än att inte använda någon armering.



Figur 17 – Maximala sprickbredder som uppmättes i olika delar av pågjutningarna.

3.4 Slutsatser

Några slutsatser som kan dras baserat på resultat från halvskaleförsöken är som följer:

Förbehandling av motgjutningsyta

- Förvattningsmetoden är sannolikt den metod som är säkrast, av de som har ingått i studien, om man strävar efter att uppnå hög och jämn vidhäftning.
- Även primer fungerar, men funktionen verkar påverkas av vilken typ av primer som väljs och hur/när primern påförs
- Om förvattningsmetoden (eller primning) sker i ett sent skede så att fritt vatten kvarstår i samband med pågjutning kan vidhäftningen dock bli väldigt dålig.
- Även torrt underlag kan under vissa förutsättningar ge väldigt god vidhäftning, men metoden verkar vara osäker

Härdning

- Resultaten tyder på att härdningen kanske är den viktigaste faktorn för att lyckas uppnå god vidhäftning. I de försök som genomfördes i Kålleröd var luftfuktigheten väldigt hög under det första dygnet medan klimatet inte var lika gynnsamt i Nykvarn. Detta kan mycket väl ha varit en förklaring till att vidhäftningen generellt blev betydligt sämre i Nykvarn.

Armering

- I båda undersökningarna blev vidhäftningen generellt bättre där pågjutningen var stålfiberarmerad. Möjligen kan man därmed dra slutsatsen att stålfibrer har en positiv effekt på vidhäftningen.

Val av pågjutningsbetong

- I båda undersökningarna användes självkompakterande betong (SKB). Med ledning av resultaten kan man konstatera att det är fullt möjligt att få god vidhäftning med SKB.
- Resultaten tyder egentligen inte på att betong med lågt vct är känsligare. I Kålleröd, där vidhäftningen generellt blev bättre och sprickorna färre, användes betong med vct 0,38 medan betongen som användes i Nykvarn hade vct 0,47.

4 Fullskaleuppföljningar

4.1 Försöksbeskrivning

Inom projektet gjordes en uppföljning av pågjutningar som utfördes vid ett byggprojekt i Kista. Konstruktionen utgjordes dels av pågjutningar i ett garage som utfördes på ett tidigare gjutet betonggolv samt ett antal bjälklag bestående av pågjutning på HD/F-element.

Kraven på sprickfrihet och vidhäftning var självklart höga i garagedelen medan övriga pågjutningar inte var särskilt känsliga eftersom de skulle beläggas med övergolv.

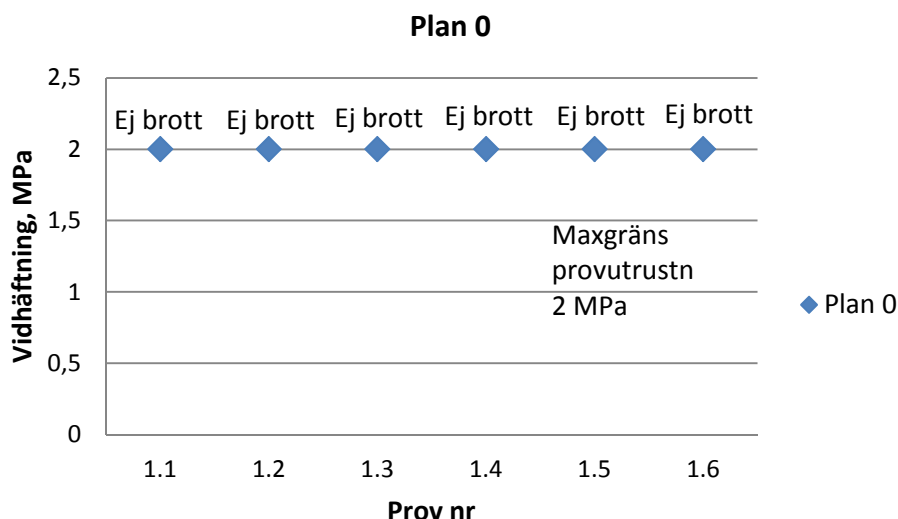
Inom ramen för projektet genomfördes försök med krympreducerad betong vid en av pågjutningarna på ett mellanbjälklag. Dessutom tillsattes ett antal olika åtgärder i garagedelen, såsom blästring och noggrann rengöring av underlaget, användning av krympreducerad betong och vakuumbehandling. Pågjutningarna följdes upp genom okulär besiktning samt vidhäftningsprovning och bestämning av fri krympning.

4.2 Resultat

4.2.1 Pågjutning plan 0

Garagedelen besiktades ca 2-3 månader efter pågjutning. Vid denna tidpunkt konstaterades att det noggranna förfarandet hade gett önskat resultat, dvs observerad sprickförekomst var väldigt begränsad. Ett fåtal sprickor noterades, men de var relativt fina och oregelbundna.

Utförda vidhäftningsprovningar visade dessutom att man hade lyckats uppnå väldigt god vidhäftning. Samtliga prover som togs i pågjutningen i garaget nådde maxgränsen för utrustningen, vilket visar att vidhäftningen var väldigt bra, se Figur 18.



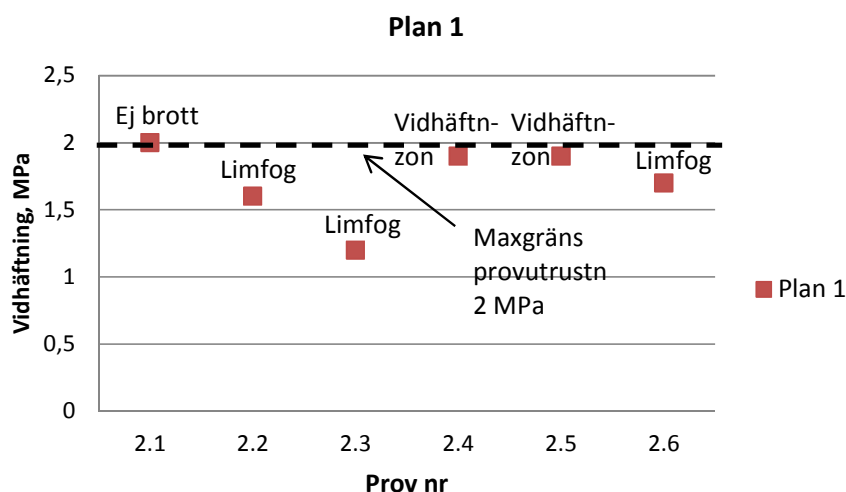
Figur 18 – Uppmätt vidhäftning mellan pågjutning och gammal betong i garaget på plan 0.

4.2.2 Pågjutning på plan 1

På plan 1 observerades betydligt fler sprickor än i garagedelen. Ett flertal av sprickorna löpte rakt igenom gjutetappen och med några meters mellanrum. Det var även tydligt att betongen hade släppt från underlaget i anslutning till sprickorna. Man kunde egentligen inte observera någon direkt skillnad mellan den del som hade gjutits på med krympreducerad betong och den övriga delen. Ett möjligt skäl till att användning av krympreducerad betong i det aktuella

fallet inte gav någon märkbar effekt kan ha varit att krympreduktionen inte blev särskilt stor. Genomförda krympmätningar visade att slutkrympningen uppgick till 0.8 mm/m för krympreducerad betong, att jämföra med 0.9 mm/m för referensbetongen.

Genomförda vidhäftningsprover på plan 1 indikerade i och för sig att vidhäftningsnivån var hygglig, se Figur 19, även om den varierade mer och var klart sämre än i garagedelen. Det som inte framgår i figuren är dock att det i själva verket var svårt att hitta delar av pågjutningen som inte var påverkade av sprickor och/eller vidhäftningssläpp.



Figur 19 – Uppmätt vidhäftning mellan pågjutning och HD/F i mellanbjälklag plan 1.

4.3 Slutsatser

Erfarenheterna från fullskaleuppföljningarna visade att ett noggrant utförande i praktiken är ett absolut krav om man skall lyckas få ett bra slutresultat. I samtliga pågjutningar som utfördes på mellanbjälklag (HD/F), där entreprenören inte satte in några särskilda åtgärder för förbehandling eller härdning, konstaterades relativt riklig förekomst av stora sprickor ett par månader efter gjutning. Användning av krympreducerad betong som enda åtgärd visade sig dessutom inte vara en tillräcklig åtgärd utan det krävs sannolikt även ett noggrant förarbete (underlag) och även härdningsåtgärder insatta i rätt tid.

Det mer noggranna utförandet som valdes i garaget visade sig vara betydligt bättre ur spricksynpunkt. Metodiken innebar att underlaget först blästrades för att därefter rengöras noggrant. Gjutningen utfördes därefter med vakuumsugningsteknik och betongen som användes var krympreducerad. I aktuellt fall täcktes därefter ytan direkt efter glättning med plastfolie, som fick ligga kvar i ca 1 vecka efter gjutning.

Slutresultatet innebar att sprickförekomsten var begränsad samt att vidhäftningen var hög och jämn.

5 Minienkät om vidhäftningspåverkande faktorer

5.1 Inledning

Inom projektet genomfördes även en minienkät bland projektdeltagarna. Tanken med detta var att fånga upp deltagarnas mångåriga erfarenhet av bland annat pågjutningar. Enkäten utfördes genom att ett antal frågor med tänkbar betydelse för slutresultatet fick graderas av deltagarna med avseende på dess vikt. Graderingen omfattade en skala mellan 1 och 3 där 1 innebar att parametern saknar betydelse och 3 innebär stor påverkan. Dessutom gavs möjlighet att lämna kommentarer. Samtliga frågor och svar från de tre deltagarna i enkäten visas i Bilaga A.

I följande avsnitt diskuteras resultaten lite mer ingående.

5.2 Resultat

En av de parametrar som projektdeltagarna uppfattar som ett absolut krav för att uppnå ett lyckat resultat (god vidhäftning, begränsad sprickvidd) är att underlaget är rent och att gjuthuden inte är av dålig kvalitet. En åsikt som framkom är att man bör uppnå en utdragshållfasthet på minst 1.5 MPa för att vara säker på att gjuthuden och kvaliteten på underlagsbetongen är tillräcklig.

När det gäller förbehandlingsmetoder är alla eniga om att förvattning är väldigt bra. Vattning bör pågå under något eller några dygn för att mätta underlaget, men inte det sista dygnet. Deltagarna var eniga om att det inte får förekomma fritt vatten i samband med pågjutning.

Val av betong för pågjutning verkar inte vara den faktor som anses ha störst betydelse för slutresultatet. Man verkar dock ha enats kring att höga betongkvaliteter ökar risken för sprickor. Om möjligt verkar det råda hygglig enighet kring att betong med v_{ct} som är lägre än 0,55 helst bör undvikas. Man bör även sträva efter så stor D_{max} som möjligt för att minimera mängden cementpasta och därmed få ner krympningen. För att få fullgod vidhäftning anses även noggrann vibrering vara en viktig faktor.

Armering av pågjutningar anses inte vara den allra viktigaste frågan för att man skall uppnå ett bra slutresultat. Man är dock överens om att fogindelning är en viktig fråga. Maximal storlek hos gjutetapper bör vara ca 12-15 m enligt projektdeltagarna och helst kvadratiska. I övrigt är hårdningsåtgärder väldigt viktiga. Man bör härda genom vattning och täckning med PE-folie under minst 5 dygn.

5.3 Slutsatser

Sammanfattningsvis rekommenderas följande åtgärder av projektdeltagarna för en lyckad pågjutning:

1. **Underlaget** skall vara rent och gjuthuden/ytan måste vara hård och av god kvalitet
2. **Förbehandlingsmetod** av motgjutningsyta bör i första hand vara förvattning
3. **Pågjutningsbetongen** skall ha $v_{ct_{max}}$ 0,55
4. Kvadratiska gjutetapper med **maximalt fogavstånd** 12-15 m.
5. **Härdning** utförs genom vattning och täckning med plastfolie i minst 5 dygn.

6 Rekommendationer

6.1 Förbehandling av underlag

Baserat på resultat från pågjutningsförsök som har gjorts på HD/F-plattor rekommenderas att följande åtgärder utförs innan pågjutning:

- Noggrann rengöring av underlaget för att få bort lösa partiklar och andra föroreningar
- Förvattning av underlaget skall avslutas dagen före pågjutning så att ytan inte är fuktig vid pågjutningstillfället. Pölar får absolut inte förekomma eftersom vidhäftningen då kan förhindras fullständigt.
- Även primer kan användas, men det är viktigt att primern påförs dagen för pågjutning så att den hinner filmbilda. Resultat från undersökningarna tyder även att olika fabrikat kan ge olika effekt.

Förbehandlingar som absolut måste undvikas om man skall få ett bra slutresultat är förvattning och priming i ett sent skede. Resultat har tydligt visat att påföring av primer eller vatten strax före pågjutning helt kan förstöra förutsättningarna att få vidhäftning.

6.2 Val av betong

Man bör välja en betong med så låg krympning som möjligt. Användning av krympreducerande medel är en åtgärd som kan vidtas. Man bör även sträva efter att använda så stor $D_{\max}$ som möjligt eftersom det påverkar mängden cementpasta som i sin tur styr krympningens storlek. Viktigt att poängtera är dock att val av t ex krympreducerad betong i sig inte är en tillräcklig åtgärd för att man skall vara säker på att kunna undvika vidhäftningsbrott och sprickor i pågjutningar.

6.3 Armering

Armering med nät eller stålfibrer minskar risken för att stora, besvärande sprickor skall uppstå. Resultat tyder på att armeringen är särskilt betydelsefull om man inte lyckas uppnå fullgod vidhäftning. Vid goda vidhäftningsförhållanden är armeringen mindre viktig.

Det kan även vara värt att nämna att stålfibrer verkar ha en gynnsam inverkan på vidhäftningen. I genomförda undersökningar har fibermängden varit ungefär 25-30 kg/m³.

6.4 Härdning

Härdningen verkar ha stor betydelse för både sprickbildning och vidhäftning. Åtgärder måste vidtas inom några timmar efter pågjutning. Om härdningsåtgärder vidtas för sent är de sannolikt helt verkningslösa. Denna rekommendation kan ges baserat på resultat från halvskaleförsök i Nykvarn, där plastfolie lades ut dagen efter pågjutning. Resultat visar att det både hade hunnit bildas sprickor och att vidhäftningen överlag blev relativt dålig.

En möjlig åtgärd kan vara att se till så att lokalen som man gjuter i är helt tät så att den fukt som finns i betongen stannar kvar i den omgivande luften. Detta tillvägagångssätt har visat sig fungera i ett antal verkliga projekt. Om detta inte är möjligt bör härdning med vatten, plastfolie eller en effektiv membranhärdningsvätska påföras inom någon/några timmar efter pågjutning.

För övrigt kan man konstatera att härdningen verkar vara extra betydelsefull i de fall pågjutningen utförs på ett torrt underlag. Troligen är detta kopplat till vattenförlusten som sker både neråt och uppåt om underlaget är alltför sugande.

Referenser

Betongrapport 13 (2008) "Industrigolv – Rekommendationer för projektering, materialval, produktion, drift och underhåll," Svenska Betongföreningen.

Betonghandboken – Material (1997) "Betonghandbok – Material," Svensk Byggtjänst, 2:a utgåvan, Stockholm.

Carlswärd, J. (2006) "Shrinkage cracking of steel fibre reinforced self compacting concrete overlays – Test methods and theoretical modelling," *Doctoral Thesis 2006:55*, Division of Structural Engineering, Luleå University of Technology, Luleå.