

SBUF Projekt nr 12001

Pågjutningar av stålfiberarmerad självkompakterande betong – sprickbegränsning och vidhäftning

Delrapport 1 - Vidhäftningsprovning



Förord

Arbetet som presenteras i rapporten utgör en första del i SBUF projekt nr 12001, som syftar till att skapa rekommendationer för dimensionering och utförande av tunna betongpågjutningar. I denna första del sammanfattas försök där en rad olika parametrars betydelse för vidhäftningen mellan nygjuten betong och äldre betongunderlag har undersökts.

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

Göteborg den 22 januari 2009

Jonas Carlswärd
Betongindustri AB

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	1
1.3	Genomförande	2
2	Vidhäftning genom utdragsprovning	3
2.1	Försöksuppställning	3
2.2	Recept och hållfasthet.....	5
2.3	Resultat för torrt underlag.....	5
2.3.1	RF-mätning	5
2.3.2	Vidhäftning	6
2.4	Resultat vid förvattnat underlag utan torkperiod	8
2.4.1	RF-mätning	8
2.4.2	Vidhäftning	9
2.5	Förvattnat underlag med ca 17 h torkperiod före pågjutning.....	10
2.5.1	Resultat från RF-mätning	10
2.5.2	Resultat från vidhäftningsförsök	11
2.6	Primat (1:3) underlag.....	12
2.6.1	Uppmätta RF-nivåer	12
2.6.2	Resultat vidhäftning.....	13
2.7	Primat (1:1) underlag.....	14
2.7.1	Resultat från RF-mätning	14
2.7.2	Resultat vidhäftningsmätning	15
2.8	Rekommendationer avseende förbehandling	16
2.8.1	Underlag med vct 0,40	16
2.8.2	Underlag med vct 0,55	17
2.8.3	Underlag med vct 0,70	18
3	Vidhäftning utvärderad genom spräckprovning.....	20
3.1	Försöksutformning.....	20
4	Rekommendationer avseende förbehandling av motgjutningsyta	22
5	Referenser	23
	Bilaga A – Samtliga resultat från vidhäftningsprovning inom aktuell undersökning	24
	Bilaga B – Vidhäftningsprovning utförd inom tidigare SBUF-projekt.....	26

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vidhäftade pågjutningar med tjocklek mellan ca 30 och 70 mm är erkänt komplicerade, både med avseende på projektering (val av material, armering mm) och när det gäller utförande (förberedning av motgjutningsyta, härdning mm). Vanligt förekommande problem är kantresningar, vidhäftningsläpp (s k bom) och sprickor.

Problemen har ofta sitt ursprung i skillnaden mellan krymprörelsen hos den nygjutna pågjutningen och underlaget. Försök inom tidigare SBUF-projekt (se Carlswärd, 2006) har emellertid visat att såväl spricktillväxt som förekomst av kantresning och vidhäftningsläpp elimineras om man lyckas skapa hög och jämn vidhäftning mellan de två skikten.

Viss osäkerhet råder idag avseende lämpliga åtgärder för att skapa förutsättningar för god vidhäftning. När det gäller förbehandling menar en del att underlaget skall förvattnas medan andra framhåller primer. Det finns även utförare som använder både förvattning och primer. Både när det gäller förvattning och primning finns dessutom olika synpunkter på hur åtgärderna skall utföras, t ex avseende tidpunkt för utläggning.

Kunskap saknas till viss del även när det gäller betongens inverkan på vidhäftningen, både kvaliteten hos gammal betong och pågjutningens. Ytterligare faktorer finns säkerligen (se t ex Betongrapport nr 13, 2008) där relevanta försök skulle kunna vara till hjälp för att bringa lite mer klarhet. Vidstående rapport har dock fokuserat på effekten av förvattning och primning samt inverkan av betongvalet på vidhäftningen.

1.2 Syfte

Ett viktigt syfte med aktuellt SBUF-projekt är att ta fram anvisningar för utförande av betongpågjutningar på befintliga betongunderlag. Enligt ovan är det grundläggande för en pågjutnings funktion att vidhäftningen mot gammal konstruktion är så hög som möjligt. För att i viss mån höja kunskapsläget inom området kommer följande frågeställningar att utredas inom aktuellt delprojekt:

1. Hur skall underlaget förberedas innan pågjutning?
 - Går det att definiera ett optimalt fukttillstånd i underlaget vid pågjutning? Hur beror detta optimala fukttillstånd av underlagsbetongens egenskaper (primärt dess permeabilitet/täthet)?
 - Är priming lika effektivt som förvattning? I vissa fall (inomhus) kan det vara svårt att förvattna motgjutningsytan och det är då viktigt att ta reda på om det finns något alternativ som ger lika god vidhäftning.
2. Påverkas vidhäftningen av vilken typ av pågjutningsbetong som används?
 - Samband mellan v_{ct} och vidhäftning studeras. En del forskningsresultat tyder på att täta betonger (dvs med lågt v_{ct} , finkornigt cement, filler), som släpper ifrån sig väldigt lite fukt, ger sämre vidhäftning än mer öppen betong (se t ex Shin & Lange, 2004).
 - Verifiera att självkompakterande betong (SKB) ger vidhäftning minst i nivå med vibrerad betong.

1.3 Genomförande

Inverkan av ovan nämnda parametrar på vidhäftning betong mot betong studeras genom försök i laboratorium. Följande faktorer ingår i försöksprogrammet:

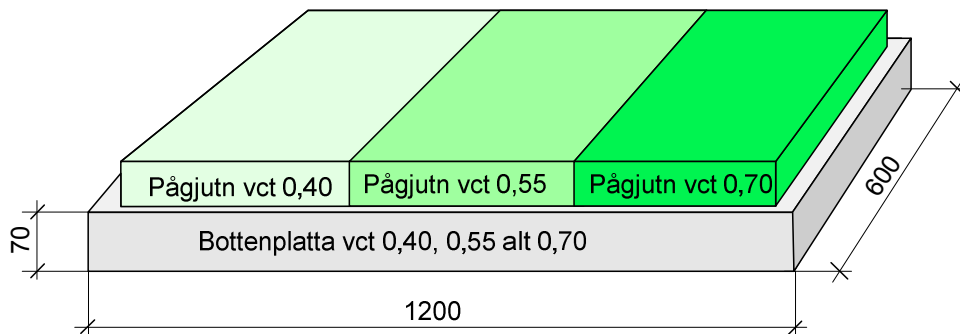
- Motgjutningsytans fukttillstånd. Torr yta jämförs med förvattnad med och utan efterföljande torkperiod.
- Primer med olika utspädningsgrad (1:1 och 1:3) men av samma fabrikat (MD 16)
- Betong med olika *vct* i underlaget (0,40, 0,55 och 0,70)
- Pågjutningsbetong med olika *vct* (0,40, 0,55 och 0,70)

Försöken görs med två olika metoder. Den första innebär att pågjutningar görs på tidigare gjutna plattor, varefter vidhäftning utvärderas genom utdragsprovning, medan den andra innebär att vidhäftning utvärderas genom spräckprovning av pågjutna kuber. Det bör även påpekas att all betong som används i studien är självkompakterande (SKB).

2 Vidhäftning genom utdragsprovning

2.1 Försökuppställning

Undersökningarna utfördes enligt Figur 1 och Tabell 1. Det vill säga, först tillverkades ett antal små betongplattor (1800x600x70 mm) som härdades (torkade ut) i laboratorieklimat under ca 4 månader (från jan, feb till maj, juni). Därefter utfördes pågjutning ca 70 mm på varje platta varefter vidhäftningen fastställdes genom utdragsförsök efter 28 dygns härdning under plastfolie.



Figur 1 - Utförande av laboratorieförsök för verifiering av underlagets och pågjutningens inverkan på vidhäftningen.

Den faktor som studerades (se Tabell 1), utöver inverkan av betongkvalitet, var förbehandlingsmetodens betydelse (torr, priming, förvattning) för vidhäftningen. När det gäller förvattning studerades två fall: (1) förvattning 2 dygn med efterföljande torkning i 17 timmar och (2) förvattning 2 dygn utan torkning. För priming undersöktes inverkan av utspädningsgrad (primer:vatten = 1:1 och 1:3). För att hålla nere antalet plattor görs alla tre pågjutningstyper (pågjutning 1, 2 och 3) på samma platta, dvs en tredjedel av ytan pågöts med SKB med vct 0,40, en tredjedel med SKB med vct 0,55 och en tredjedel med SKB med vct 0,70. Totalt antal underlagsplattor blev 15 st enligt tabellen.

Tillverkningen av underlagsplattor utfördes genom att betongen blandades och hölldes i en form varefter ytan gjordes så slät som möjligt i anslutning till gjutning. Plattorna härdades därefter under plastfolie i 5 dygn. Sedan avtäcktes och avformades de och tilläts torka ut i laboratorieklimat under ca 2-3 månader.

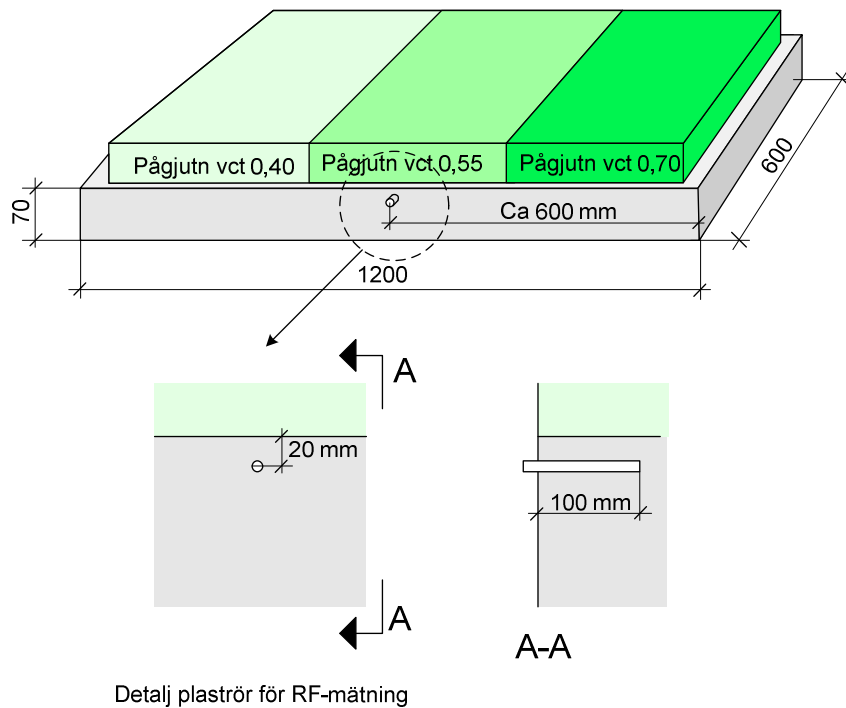
Före pågjutning ruggades motgjutningsytan upp med stålborste, främst för att avlägsna eventuellt svaga ytskikt. Därefter gjordes förbehandling enligt Tabell 1 innan ytorna göts på. Härdning under plastfolie utfördes därefter fram till provning av utdragshållfasthet för att undvika eventuell negativ påverkan av differenskrämpning.

Utdragshållfastheten utvärderades med tre prov på respektive delyta.

Tabell 1 – Försök som utfördes för att studera vidhäftning betong mot betong.

Underlag		Pågjutning 1 (vct 0,40)	Pågjutning 2 (vct 0,55)	Pågjutning 3 (vct 0,70)
Förbehandling	vct			
Torr	0,40	x	x	x
	0,55	x	x	x
	0,70	x	x	x
Förvattn 2 d + torkn 17 h	0,40	x	x	x
	0,55	x	x	x
	0,70	x	x	x
Förvattn 2 d + torkn 0 h	0,40	x	x	x
	0,55	x	x	x
	0,70	x	x	x
Primer 1:1	0,40	x	x	x
	0,55	x	x	x
	0,70	x	x	x
Primer 1:3	0,40	x	x	x
	0,55	x	x	x
	0,70	x	x	x

För att mäta hur fukt tränger ner i de olika underlagen vid förvattning, priming och vid pågjutning monterades plaströr ca 20 mm från överkant underlagsplatta. Enligt Figur 2 sattes ett plaströr in centriskt i varje platta (från kortsidan) på ett djup av ca 100 mm in i plattan. För att begränsa antalet givare gjordes mätningar endast under pågjutningen med vct 0,55. Detta innebär att totala antalet fuktgivare (humiguard) uppgick till 15 st. Mätning av RF gjordes vid minst ett tillfälle innan förvattning eller priming samt före och direkt efter pågjutning. Därefter kontrollerades RF-nivån vid något/några ytterligare tillfällen efter pågjutning för att se hur RF-nivån förändrades över tid.



Figur 2 – Placering av plaströr för mätning av RF-nivå i underlagsplatta. Totalt antal 16 st.

2.2 Recept och hållfasthet

Samma betongrecept användes för underlag och pågjutningar (Tabell 2). Flytmedelsdoseringen varierades i syfte att uppnå ett flytsättningsmått på ungefär 700 mm. Kuber togs ut för bestämning av hållfasthet vid 28 dygn. Det framgår av tabellvärdena att hållfastheten varierade något mellan underlagsbetong och pågjutning trots identisk sammansättning. Möjligen kan det bero på att tidpunkten för provning var samma trots att underlagsplattorna tillverkades ca 3-4 månader tidigare (detta måste undersökas). Detta förklarar dock inte varför SKB med vct 0,55 hade lägre hållfasthet i underlaget än i pågjutningarna.

Tabell 2 – Recept samt tryckhållfasthetsvärden för betong som ingick i studien.

Material	SKB vct 0,40 kg/m ³	SKB vct 0,55 kg/m ³	SKB vct 0,70 kg/m ³
Byggcement Slite	450	350	280
Kalkfiller Limus 40	70	120	180
Betonggrus 0/8 (Luleå)	980	1040	1050
Makadam 8/16 (Luleå)	710	640	650
Sikament 56	?	?	?
Vatten	180	192	195
vct	0,40	0,55	0,70
Hållfasthet, underlag (MPa)	75	46	41
Hållfasthet, pågjutning (MPa)	70	53	38

2.3 Resultat för torrt underlag

2.3.1 RF-mätning

Mätning av relativ fuktighet gjordes vid några olika tidpunkter före samt efter pågjutning med fuktgivare av fabrikat Humiguard, se tidigare beskrivning i avsnitt 2.1. Ett foto som visar givarnas placering i underlagsplattorna (3 plattor staplade på varandra) visas i Figur 3.

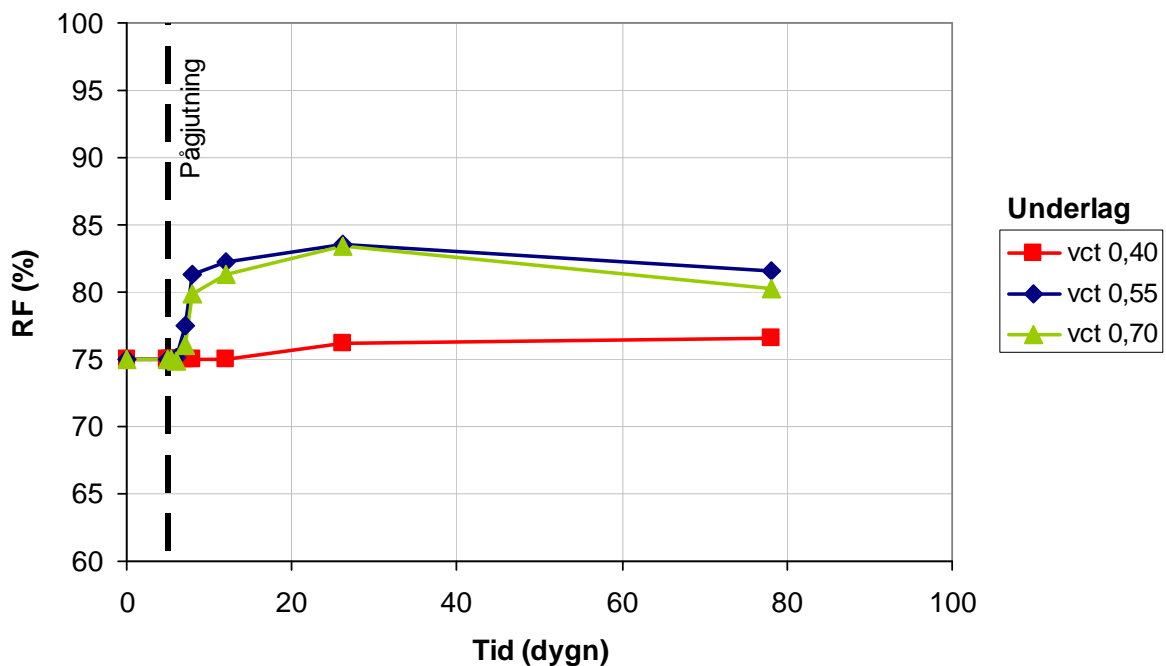


Figur 3 – Foto som visar fuktgivarnas placering i underlagsplattorna.

Resultat från RF-mätningarna för torrt underlag redovisas i Figur 4. Som synes påverkades underlaget med lägst vct betydligt mindre än övriga två underlag av pågjutningen. För underlag med vct 0,55 och 0,70 steg RF-nivån upp till ca 80-85 % till följd av uppfuktning medan motsvarande värde endast uppgick till ca 77 % för underlag med vct 0,40. Det verkar även ha tagit något längre tid innan uppfuktningen nådde mätnivån för det tätaste underlaget.

För de två övriga underlagen verkar uppfuktningen dock ha varit likvärdig trots skillnaden i vct. Möjligen beror detta på att kalkfillermängden var högre i betong med vct 0,70 (se Tabell 2). I Tabell 2 framgår även att hållfasthetsskillnaden var marginell (41 och 46 MPa), vilket tyder på att skillnaden mellan vct 0,55 och 0,70 i underlaget av något skäl inte var så stor.

Det bör även påpekas att Humiguard-systemet har en undre begränsning på 75 %. Denna nivå innebär således att RF är 75 % eller lägre.



Figur 4 – Uppmätt RF ca 20-30 mm under betongytan (se Figur 2) för 3 olika underlagsbetonger. Pågjutningsbetongen hade vct 0,55 och motgjutningsytan var torr vid pågjutningstillfället.

2.3.2 Vidhäftning

Resultat från utdragsprovning (vidhäftning) redovisas i Figur 5. Dels ges medelvärden från 3 prismor och dels ett karakteristiskt värde framräknat i enlighet med Bro 04, dvs med följande formel:

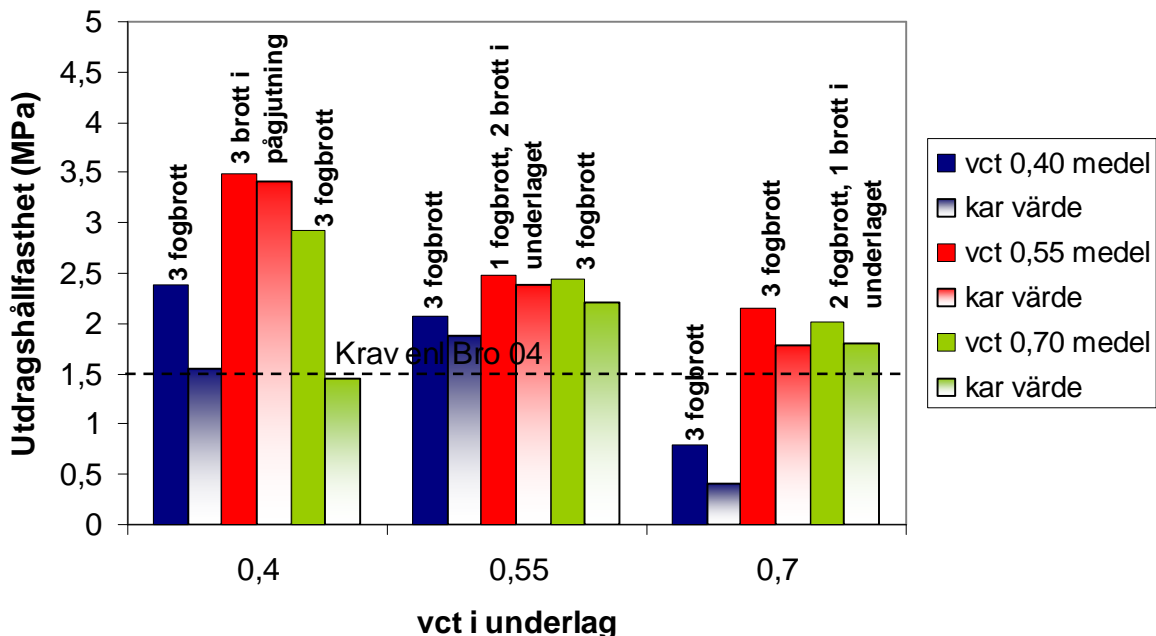
$$f_k = mv - 1,4 \cdot s$$

Där f_k är karakteristiskt värde, mv är medelvärde och s är standardavvikelse. Enligt Boverkets handbok "Dimensionering genom provning" (1994) motsvarar ovanstående formel (dvs faktorn 1,4) ungefär ett 30 % fraktilvärde vid 75 % konfidensnivå vid antagen normalfördelning. Detta innebär att det karakteristiska värdet kommer att underskatta populationens undre 30 % fraktil med 75 % sannolikhet.

Följande slutsatser kan dras baserat på redovisade resultat i Figur 5:

- Dålig vidhäftning uppstod egentligen bara vid en kombination: pågjutning med betong med vct 0,40 på underlag med vct 0,70. Enligt Figur 5 uppnåddes ett medelvärde på endast ca 0,8 MPa. Det är sannolikt att orsaken är relaterad till fuktutväxlingen mellan pågjutning och underlag. Rimligen ökar uppsugningen med ökat vct även om detta inte helt framgår av uppmätta RF-värden i Figur 4 (jämför vct 0,55 och 0,70). Det är möjligt att betong med lågt vct (0,40) är känsligare än betong med högre vct, vilket skulle förklara varför övriga två betonger (vct 0,55 och 0,70) gav bättre vidhäftning för aktuellt underlag.
- Över huvud taget verkar det vid torrt underlag vara ofördelaktigt att gjuta på med betong med lågt vct. För samtliga underlag gav pågjutning med vct 0,40 lägst vidhäftning.
- En tidigare framlagd hypotes om att man inte behöver förvattna, eller prima, vid pågjutning på tätt underlag (betong med lågt vct) verkar endast stämma då pågjutningen inte har för lågt eller för högt vct. För betong med vct 0,55 blev vidhäftningen dock klart bäst vid pågjutning på vct 0,40 underlag. Detta visas inte minst av att samtliga brott för denna kombination skedde i pågjutningen, dvs verklig vidhäftning var till och med högre än 3,5 MPa.
- Värt att notera är även den stora skillnaden mellan medelvärde och karakteristiskt värde vid pågjutning med vct 0,70 på underlag med vct 0,40. Orsaken (se Tabell 1 i Bilaga 1) är att 1 av de 3 proven endast klarade 1,7 MPa medan övriga uppgick till ca 3,5 MPa.

Torrt underlag



Figur 5 – Utdragshållfasthet (vidhäftning) vid pågjutning med olika betonger (vct 0,40, 0,55 och 0,70) på torra betongunderlag med olika vct. I figuren redovisas medelvärde samt karakteristiskt värde ($f_k = mv - 1,4 \cdot s$ där s är standardavvikelsen från 3 prov).



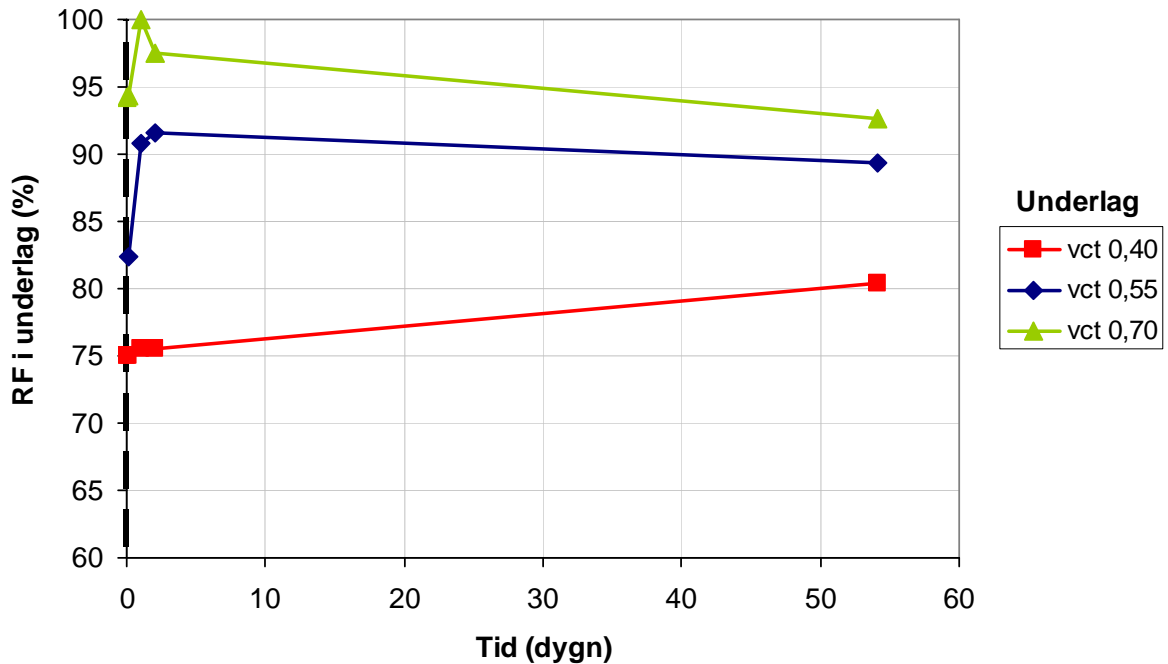
Figur 6 – Vid pågjutning på torrt underlag erhöles fogbrott (vänster) i de flesta fall. Undantaget var vid pågjutning med betong vct 0,55 där 3 av 9 brott skedde i pågjutningen och 2 av 9 i underlaget.

2.4 Resultat vid förvattnat underlag utan torkperiod

2.4.1 RF-mätning

Resultat från RF-mätningarna för underlag som förvattnades utan efterföljande torkperiod (täckt med plast fram till pågjutning) redovisas i Figur 7. Streckad svart linje motsvarar tidpunkt för pågjutning. Tyvärr gjordes inga mätningar före och direkt efter förvattning i de aktuella fallen men man kan utgå från att vattentillsatsen har bidragit till att höja RF-nivån.

Av resultaten framgår att underlaget med lägst vct påverkades betydligt mindre än övriga två underlag av förvattning och pågjutning. Helt naturligt gick RF-nivån upp mest i underlaget med högst vct. För både vct 0,55 och 0,70 verkar max RF-nivå ha uppnåtts några dygn efter pågjutning för att därefter långsamt avta. Intressant att notera är att RF-nivån för underlaget med vct 0,40 var högre ca 2 månader efter pågjutning än efter några dygn.



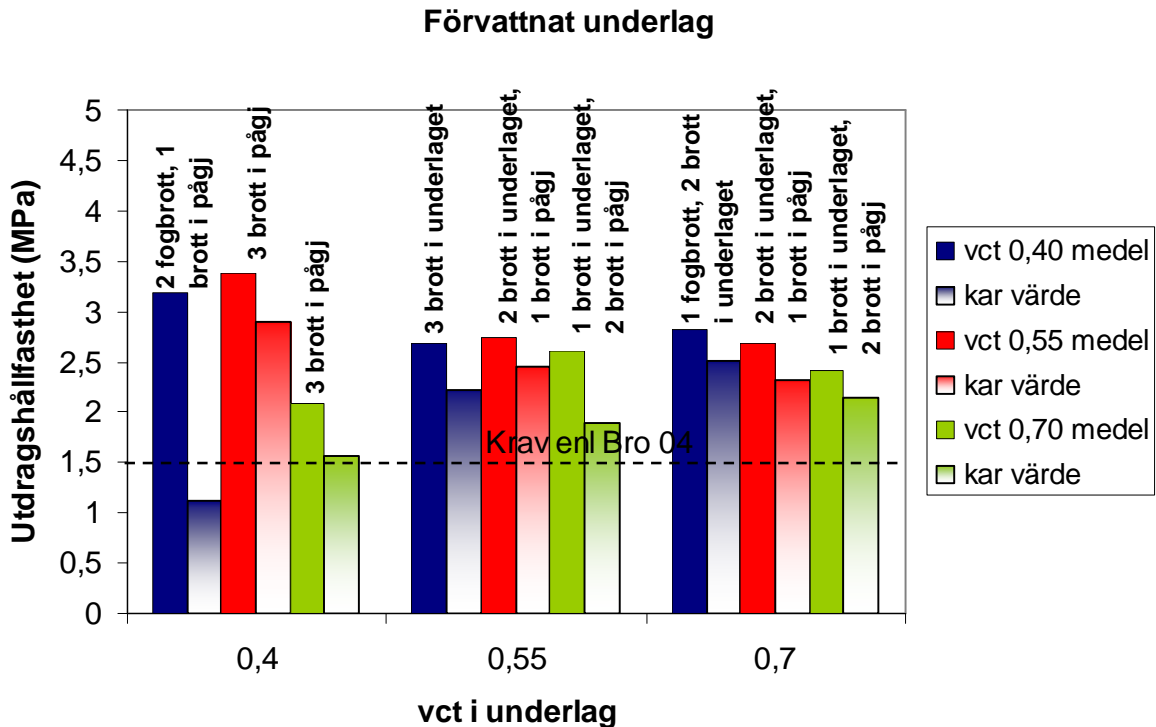
Figur 7 – Uppmätt RF ca 20-30 mm under betongytan (se Figur 2) för 3 olika underlagsbetonger. Pågjutningsbetongen hade vct 0,55 och motgjutningsytan var förvattnad vid pågjutningstillfället.

2.4.2 Vidhäftning

Uppmätt utdragshållfasthet för pågjutningar på underlag som förvattnats utan efterföljande torkning redovisas i Figur 8. Jämfört med torrt underlag kan man konstatera att andelen fogbrott blev betydligt färre, vilket ger en indikation på att vidhäftningen generellt blev bättre genom förvattning.

För underlag med vct 0,55 och 0,70 uppstod flest brott i underlaget förutom vid pågjutning med vct 0,70 där flertalet brott uppstod i pågjutningen. Resultatet är naturligt då denna betongkvalitet rimligen är den svagaste länken. Detta är även orsaken till att brotten uppstod i pågjutningen vid underlag med vct 0,40 och pågjutning med vct 0,55 och 0,70.

Det enda fallet med lite tveksam vidhäftning uppstod vid pågjutning med vct 0,40 betong på underlag med vct 0,40. Av resultaten framgår att 2 av 3 brott uppstod i fogen, vilket i och för sig troligen beror på hög draghållfasthet i aktuell betong. Den stora skillnaden mellan medelvärde och karakteristiskt värde visar dock att kombinationen kan vara känslig.



Figur 8 – Utdragshållfasthet (vidhäftning) vid pågjutning med olika betonger (vct 0,40, 0,55 och 0,70) på förvattnade underlag av betong med olika vct. I figuren redovisas medelvärde samt karakteristiskt värde ($f_k = mv - 1,4 \cdot s$ där s är standardavvikelsen från 3 prov).

2.5 Förvattnat underlag med ca 17 h torkperiod före pågjutning

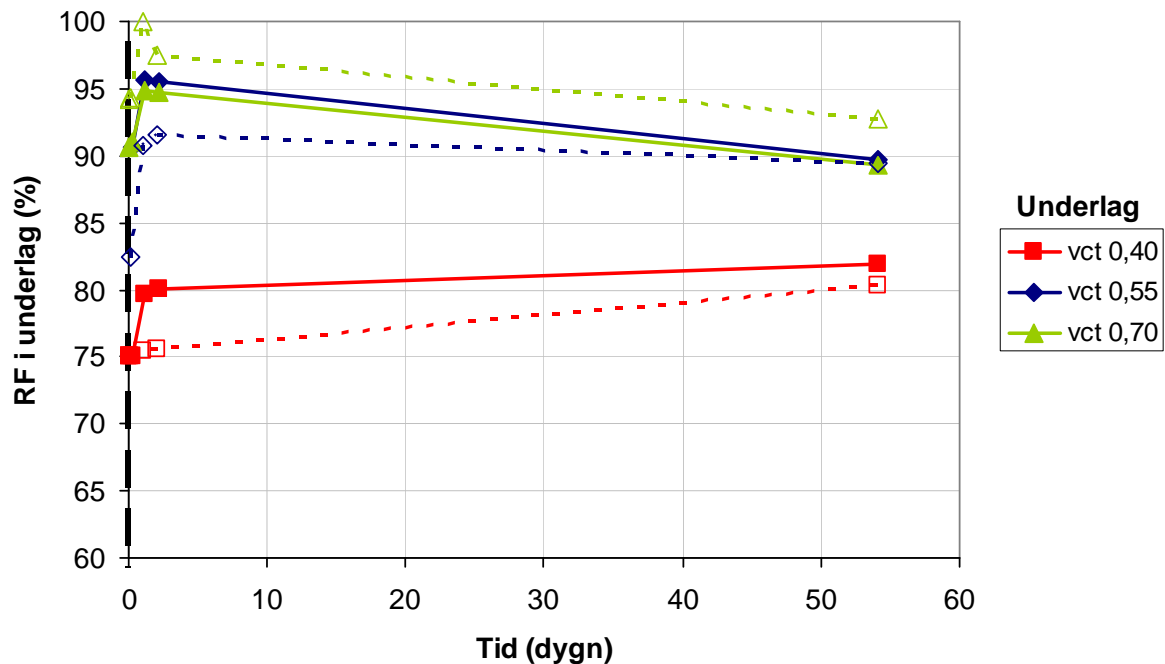
2.5.1 Resultat från RF-mätning

Uppmätta RF-nivåer i underlaget vid pågjutning på underlag som förvattnats ca 2 dygn och därefter fått torka under 17 h före pågjutning redovisas i Figur 9. Tyvärr gjordes även i dessa fall den första mätningen någon timme före pågjutning, dvs hur förvattningen påverkade fuktillståndet framgår inte.

Liksom vid tidigare beskrivna RF-mätningar (se Figur 4 och Figur 7) påverkades RF-nivån betydligt mer i underlag med vct 0,55 och 0,70 jämfört med vct 0,40. För jämförelsens skull har RF-nivåerna från mätning vid förvattnat underlag utan torkning lagts in i diagrammet som streckade linjer. Som synes var maxnivån något högre i underlag med vct 0,40 och 0,55 samt något lägre i 0,70 jämfört med förvattning utan torkperiod. Detta kan antas bero på att startvärdet före pågjutning var lägre i underlag med vct 0,70 men högre i åtminstone underlaget med vct 0,55 jämfört med föregående förvattningsalternativ.

Noterbart är att uppfuktning till följd av pågjutning gick betydligt snabbare för vct 0,40 underlag i detta fall jämfört med tidigare. Här uppnåddes 80 % RF redan efter några dygn. Det är dock inte säkert att detta skiljer sig från det föregående alternativet där startvärdet mycket väl kan ha varit lägre än 75 %, som utgör den nedre gränsen för vad som går att mäta.

De lägre startvärdena kan bero på att plattorna med vct 0,55 och 0,40 tillverkades tidigare och därmed har fått en längre uttorkningsperiod. **Kan detta kontrolleras???**

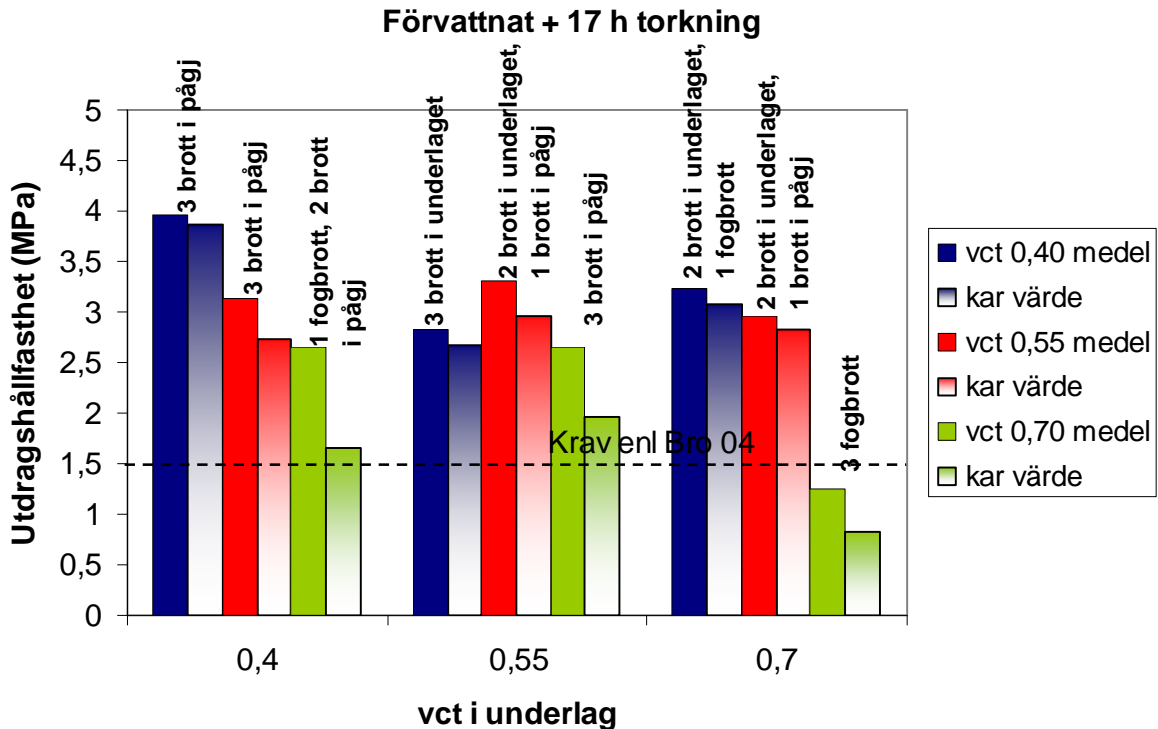


Figur 9 – Uppmätt RF ca 20-30 mm under betongytan (se Figur 2) för 3 olika underlagsbetonger. Pågjutningsbetongen hade vct 0,55 och motgjutningsytan var förvattnad med efterföljande torkperiod på 17 h. Även motsvarande mätvärden för förvattning utan torkperiod redovisas i diagrammet (streckade linjer).

2.5.2 Resultat från vidhäftningsförsök

Uppmätt hållfasthet från utdragsprovning vid pågjutning på underlag som förvattnats i ca 2 dygn och därefter tillåtits torka i 17 h redovisas i Figur 10. Om man tittar på brotttyp kan det vara värt att notera att antalet fogbrott liksom för tidigare förvattningsalternativ är få (endast 5 av 27 brott skedde i fogen). Av detta kan man dra slutsatsen att förvattning med efterföljande torkning generellt är en bra metod för att uppnå god vidhäftning.

Det är egentligen bara en kombination som inte verkar ha gett så god vidhäftning, pågjutning med vct 0,70 på underlag med vct 0,70. Vad detta beror på är svårt att förstå eftersom såväl torrt underlag som förvattnat utan torkning gav bättre resultat för motsvarande kombination.

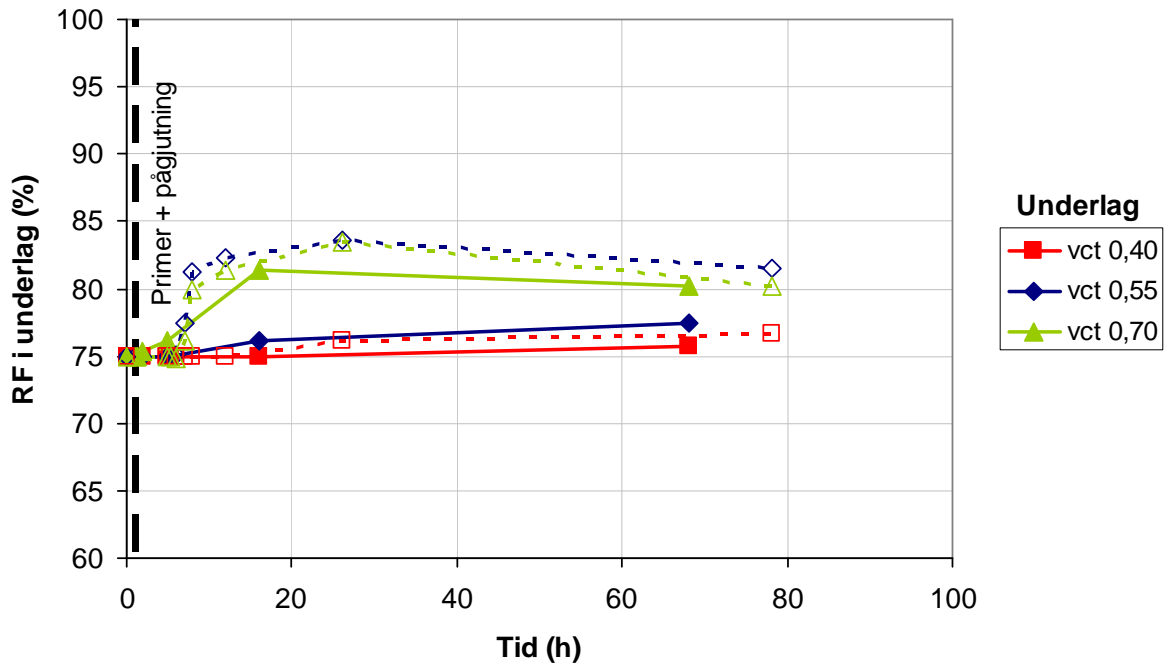


Figur 10 – Utdragshållfasthet (vidhäftning) vid pågjutning med olika betonger (vct 0,40, 0,55 och 0,70) på underlag av betong med olika vct som förvattnats 2 d och därefter tillåtits torka 17 h. I figuren redovisas medelvärde samt karakteristiskt värde ($f_k = mv - 1,4 \cdot s$ där s är standardavvikelsen från 3 prov).

2.6 Primat (1:3) underlag

2.6.1 Uppmätta RF-nivåer

Resultat från RF-mätning i underlag som primats med utspädd primer 1:3 och pågjutits redovisas i Figur 11. Som jämförelse visas även RF-värden uppmätta vid torrt underlag som streckade linjer i samma färg. Stor skillnad mellan torrt och primat underlag märks enbart för betongunderlag med vct 0,55 där RF-nivån blev väsentligt lägre till följd av priming. För vct 0,70 underlag blev RF-nivån endast något lägre än för torrt underlag. Det finns två möjliga förklaringar. Den första är att primern inte var så värst effektiv när det gäller att hindra fukttransport för detta underlag och den andra att primern i sig gav upphov till den ökade RF-nivån.



Figur 11 – Uppmått RF ca 20-30 mm under betongytan (se Figur 2) för 3 olika underlagsbetonger. Pågjutningsbetongen hade vct 0,55 och motgjutningsytan var primad (1:3) vid pågjutningstillfället. RF-värden för torrt underlag har lagts in som jämförelse (streckade linjer).

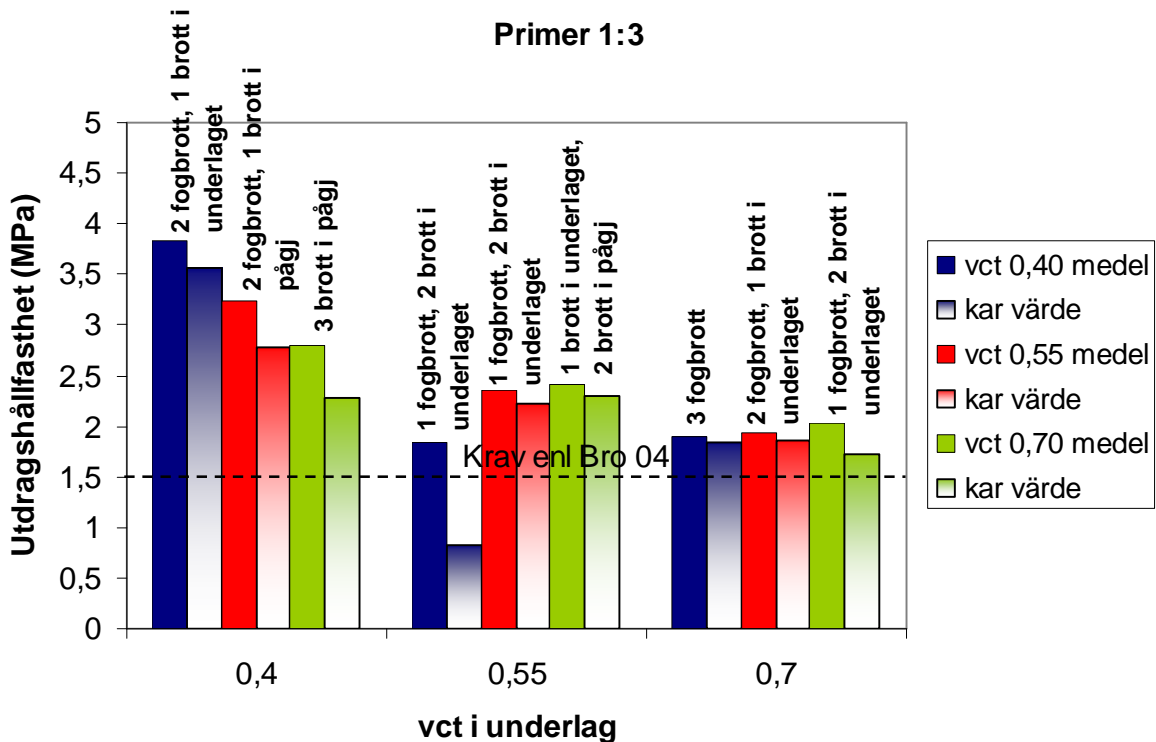
2.6.2 Resultat vidhäftning

Uppmått utdragshållfasthet för pågjutningar utförda på underlag som primats med utspädd primer 1:3 redovisas i Figur 12. Det faktum att antalet fogbrott uppgår till 12 st av 27, vilket är klart högre än förvattnade alternativ (se Figur 8 och Figur 10) ger en indikation på att primer 1:3 generellt är sämre än förvattning.

Om resultat för de olika underlagen studeras framgår att primer 1:3 var ett bra alternativ för underlaget med vct 0,40 för samtliga 3 pågjutningsbetonger. För pågjutning med vct 0,70 uppstod samtliga tre brott i pågjutningen vid ca 2,5 MPa, vilket visar att fogen var överstark. För övriga pågjutningsbetonger (vct 0,40 och 0,55) skedde i och för sig 4 av 6 brott i fogen. Nivån var dock relativt hög (3-4 MPa) och spridningen låg vilket tyder på att vidhäftningen var god.

För underlag med vct 0,55 blev vidhäftningen hygglig vid pågjutning med vct 0,55 och 0,70 medan pågjutning med vct 0,40 gav sämre resultat. I det sistnämnda fallet uppstod ett rent fogbrott (2,2 MPa) och ett brott ca 10 mm ner i underlaget (2,3 MPa). Det tredje brottet, som endast uppgick till 1 MPa, uppstod delvis i fogen (40 %) och delvis i underlaget (60 %). Det finns två möjliga förklaringar till det låga värdet. Antingen har brottet startat i fogen och därefter gått ner i underlaget. Detta skulle innebära att vidhäftningen för kombinationen är dålig (varierande). Om brottet däremot har startat i underlaget till följd av t ex en svaghetszon så är det inte nödvändigtvis vidhäftningen som var dålig.

För det sista fallet, underlag med vct 0,70, verkar det som om vidhäftningen blev något sämre än vid förvattning med tanke på en högre andel fogbrott vid lite lägre hållfasthetsnivå (jämför med Figur 8 och Figur 10).

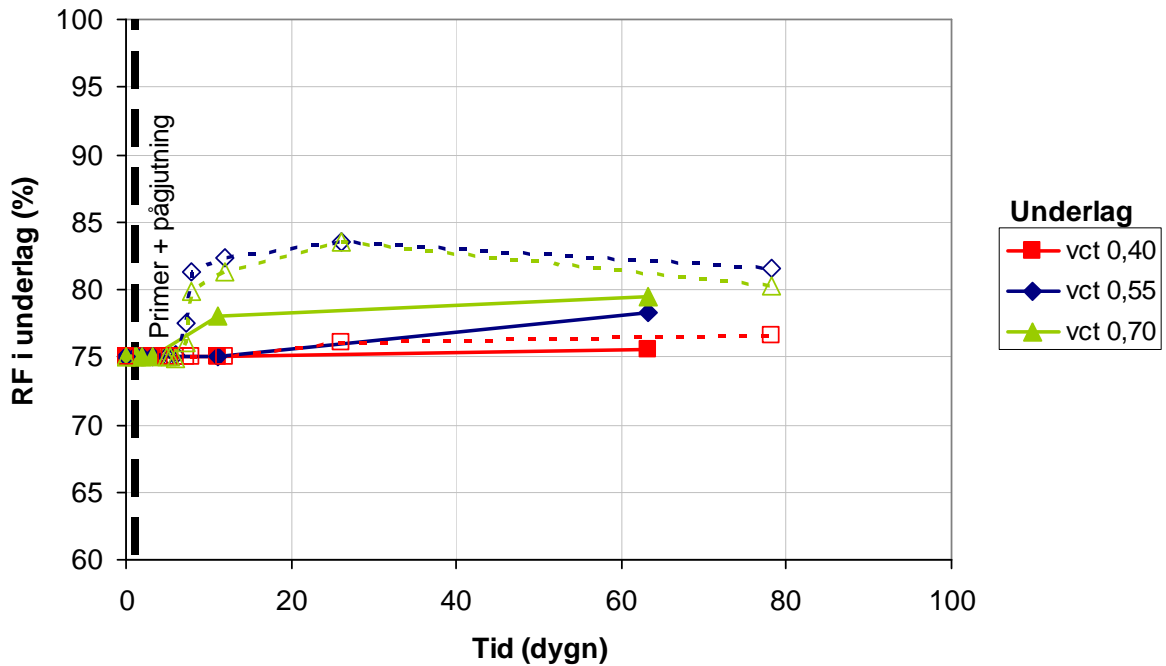


Figur 12 – Utdragshållfasthet (vidhäftning) vid pågjutning med olika betonger (vct 0,40, 0,55 och 0,70) på torra underlag av betong med olika vct. I figuren redovisas medelvärde samt karakteristiskt värde ($f_k = mv - 1,4 \cdot s$ där s är standardavvikelsen från 3 prov).

2.7 Primat (1:1) underlag

2.7.1 Resultat från RF-mätning

Uppmätta RF-värden för underlag som primats med primer som späts 1:1 redovisas i Figur 13 från något dygn före pågjutning. Som jämförelse visas motsvarande RF-värden för torrt underlag (streckade linjer). Av resultaten kan man utläsa att primern stoppade fukttransporten väldigt effektivt för underlag med vct 0,55 och 0,40. Man kan även konstatera att detta primeralternativ motverkade uppfuktningen för underlag med vct 0,70 bättre än med utspädning av primer 1:3 (jämför med Figur 11).

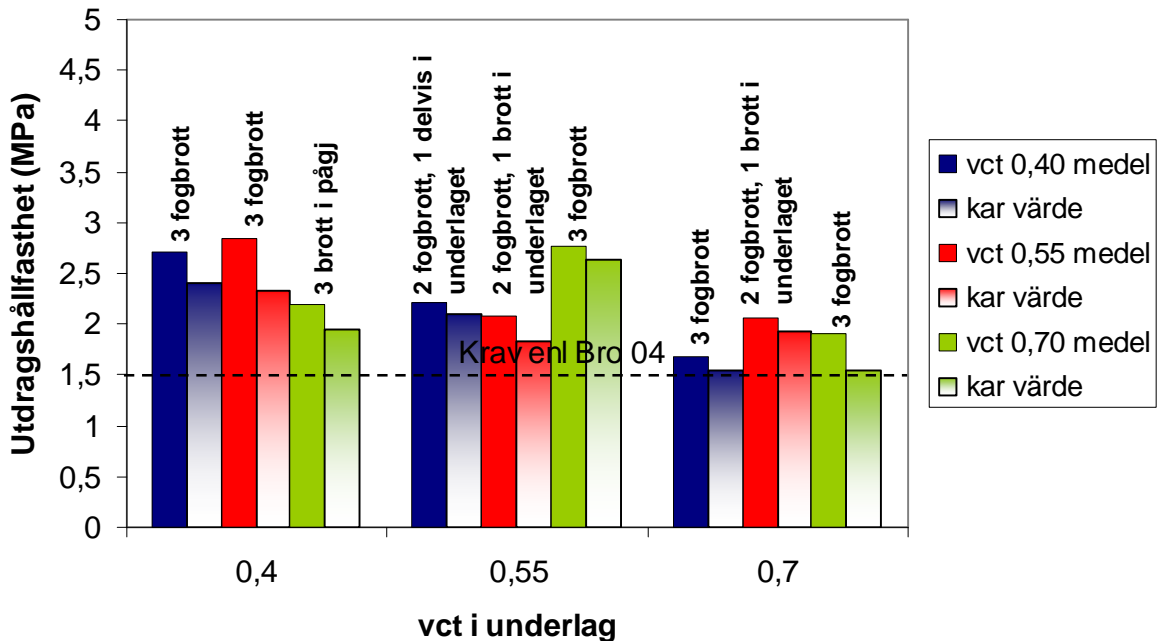


Figur 13 – Uppmätt RF ca 20-30 mm under betongytan (se Figur 2) för 3 olika underlagsbetonger. Pågjutningsbetongen hade vct 0,55 och motgjutningsytan var primad (1:1) vid pågjutningstillfället. RF-värden för torrt underlag visas som jämförelse (streckade linjer).

2.7.2 Resultat vidhäftningsmätning

Uppmätta värden på utdragshållfasthet för pågjutning på underlag som primats med primer som späts 1:1 med vatten redovisas i Figur 14. Med tanke på antalet fogbrott som uppstod (21 av 27 brott var rena fogbrott) känns det som om detta inte är ett bra alternativ ur vidhäftningssynpunkt. I övrigt kan konstateras att skillnaden mellan medelvärde och karakteristiskt värde var liten i samtliga fall, vilket tyder på att vidhäftningen var jämn. Man kan även se att vidhäftningen för alternativet pågjutning med vct 0,70 på underlag med vct 0,55 var riktigt bra. Orsaken är oklar.

Primer 1:1



Figur 14 – Utdragshållfasthet (vidhäftning) vid pågjutning med olika betonger (vct 0,40, 0,55 och 0,70) på torra underlag av betong med olika vct. I figuren redovisas medelvärde samt karakteristiskt värde ($f_k = mv - 1,4 \cdot s$ där s är standardavvikelsen från 3 prov).

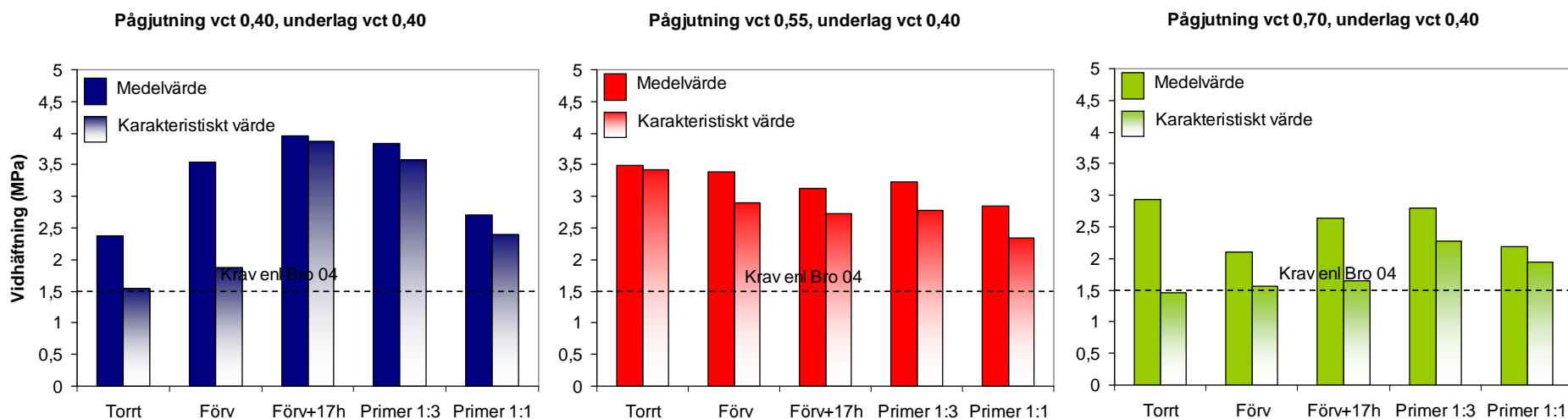
2.8 Rekommendationer avseende förbehandling

2.8.1 Underlag med vct 0,40

I Figur 15 redovisas utdragshållfastheter (medelvärde respektive karakteristiskt värde) för pågjutning med SKB med vct 0,40, 0,55 samt 0,70 på underlag med vct 0,40 som förbehandlats på olika sätt. När det gäller pågjutningsbetong med vct 0,40 (blå) indikerar resultaten att man bör välja förvattning eller priming med utspädningsgrad 1:3 för att få så hög och jämn vidhäftning som möjligt. Vid förvattning är det även viktigt att låta ytan torka ut ordentligt före pågjutning. Torrt underlag bör undvikas.

För pågjutning med SKB med vct 0,55 (röd) verkar det inte spela någon större roll vilken förbehandling som väljs. Med tanke på att torrt underlag och förvattnat (båda alternativen) enbart gav brott i pågjutningen medan de båda primeralternativen huvudsakligen gav fogbrott kan man dock dra slutsatsen att primer är sämre än torrt eller förvattnat underlag.

Vid den lägsta kvaliteten av pågjutningsbetong (vct 0,70=grön) är det svårt att se vilken metod som är mest lämplig. Möjligen är alternativet med primer 1:3 bäst eftersom det gav ett högt medelvärde och relativt liten spridning. Samtliga 3 brott skedde dessutom i pågjutningen vilket indikerar att vidhäftningen i själva verket var ännu bättre. Samma brotttyp uppstod i och för sig i samtliga fall utom för torrt underlag (fogbrott), vilket innebär att det företrädesvis var pågjutningsbetongen som påverkade vidhäftningen.



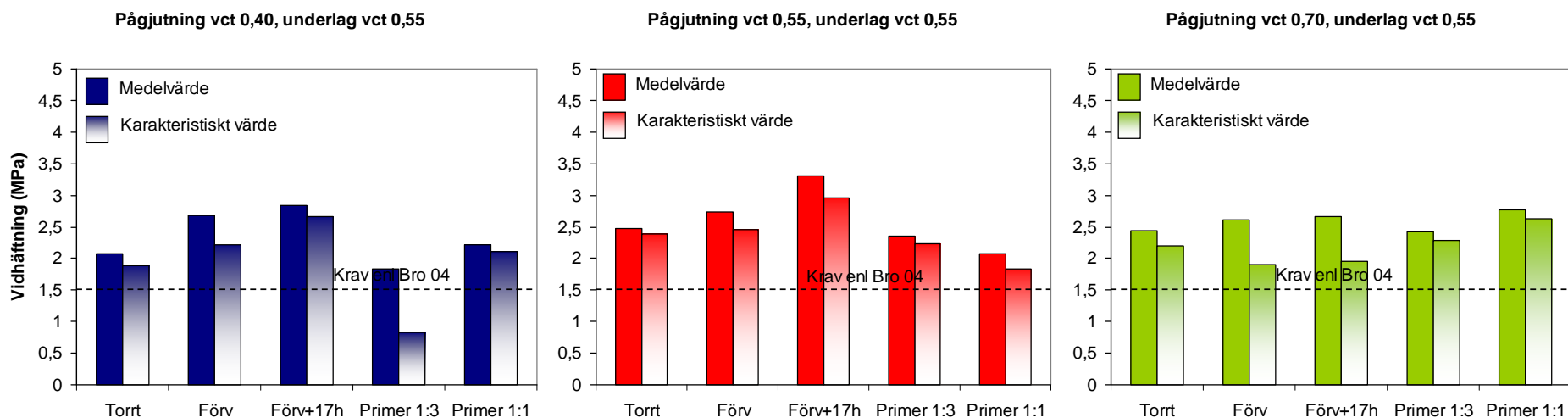
Figur 15 – Utdragshållfasthet vid pågjutning med SKB med vct 0,40 (blå), vct 0,55 (röd) och vct 0,70 (grön) på underlag med vct 0,40.

2.8.2 Underlag med vct 0,55

I Figur 16 redovisas utdragshållfastheter (medelvärde respektive karakteristiskt värde) för pågjutning med SKB med vct 0,40, 0,55 samt 0,70 på underlag med vct 0,55 som förbehandlats på olika sätt. För pågjutningsbetong med vct 0,40 (blå) framgår att förvattning med efterföljande torkperiod på 17 h gav den bästa vidhäftningen. Även förvattning utan torkperiod kan rekommenderas eftersom samtliga 3 brott för denna situation uppstod i underlaget. Det som bör undvikas är möjligen torrt underlag, där samtliga brott skedde i fogen. Primer 1:3 gav i och för sig klart lägst medel- och karakteristiskt värde men detta beror på att ett av brotten uppstod i underlaget vid ett väldigt lågt värde, vilket tyder på en svaghetszon snarare än dålig vidhäftning. Övriga värden för primer 1:3 låg ungefär på samma nivå som primer 1:1 vid ca 2,2-2,3 MPa, vilket är något sämre än de två förvattnade alternativen.

Resultat för pågjutning med vct 0,55 på underlag med vct 0,55 (röd) visar att förvattning med 17 h torkning gav högst hållfasthetsnivå. Många av brotten även för övriga alternativ uppstod dock i underlaget eller pågjutningen, vilket tyder på att de flesta förbehandlingar fungerar. Möjligen bör man undvika primer 1:1 eftersom 2 av brotten skedde i fogen vid lite lägre värde än övriga alternativ.

Vid pågjutning med vct 0,70 (grön) på vct 0,55 underlag verkar det inte spela så stor roll vilken förbehandling som väljs. Möjligen kan man framhålla primer 1:1. Detta alternativ gav dock enbart fogbrott medan många av de övriga förbehandlingarna gav brott i underlag och pågjutning, vilket innebär att det inte går att fastställa att denna behandling var bäst.



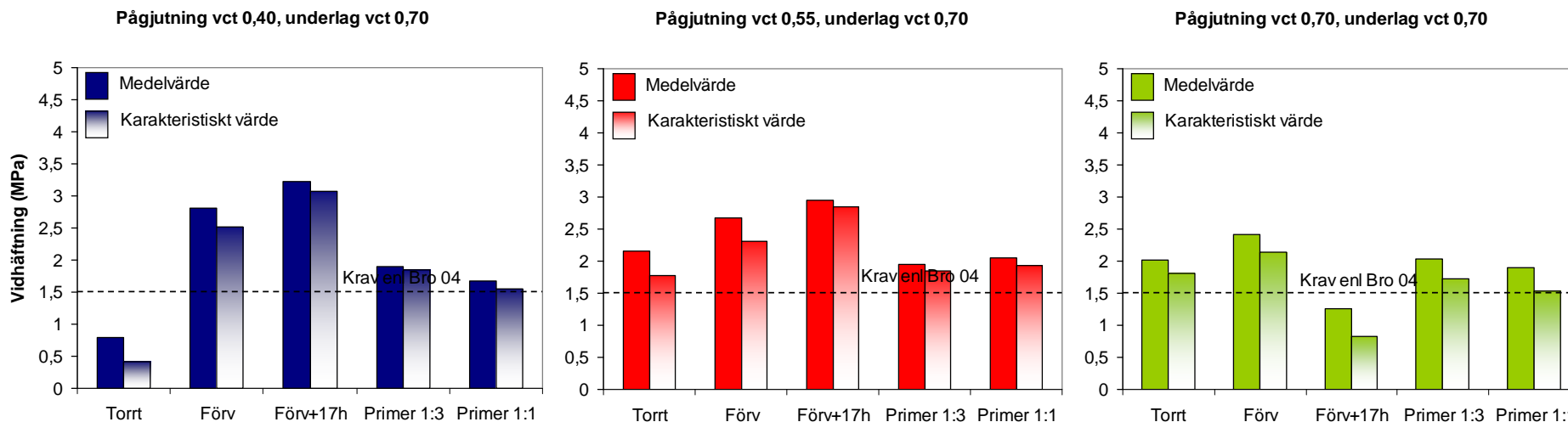
Figur 16 – Utdragshållfasthet vid pågjutning med SKB med vct 0,40 (blå), vct 0,55 (röd) och vct 0,70 (grön) på underlag med vct 0,55.

2.8.3 Underlag med vct 0,70

I Figur 17 visas utdragshållfastheter för pågjutning på underlag med vct 0,70. Till att börja med kan konstateras att det är väldigt viktigt att inte underlaget är torrt vid pågjutning med SKB med vct 0,40. Denna kombination gav det klart sämsta utfallet av samtliga försök. Orsaken kan vara att SKB med vct 0,40 är känslig då alltför mycket vatten sugts ut, vilket kan förväntas av aktuellt underlag med högt vct (0,70) som är torrt. När man skall gjuta på ett underlag med högt vct visar resultaten att förvattning med eller utan torkperiod är klart bäst. För båda primeralternativen uppstod enbart fogbrott vid en hållfasthetsnivå som var klart lägre än vid förvattnade underlag.

Även vid pågjutning med SKB med vct 0,55 (röd) verkar förvattning vara att föredra. Helst skall ytan tillåtas torka ut innan pågjutning eftersom denna situation gav högst värde. Liksom för pågjutning med vct 0,40 gav torrt underlag och de två primeralternativen mestadels upphov till fogbrott, vilket tyder på att dessa förbehandlingar är sämre och således helst bör undvikas.

Ett anmärkningsvärt dåligt resultat uppstod vid pågjutning med SKB med vct 0,70 på underlag som förvattnats och torkat i 17 h. Samtliga brott skedde dessutom i fogen. Vad detta kan bero på är svårt att förstå eftersom helt torrt underlag gav klart bättre resultat. Skall man rekommendera något alternativ så är det förvattning utan torkning, som gav högt medelvärde, låg spridning och dessutom inga fogbrott.



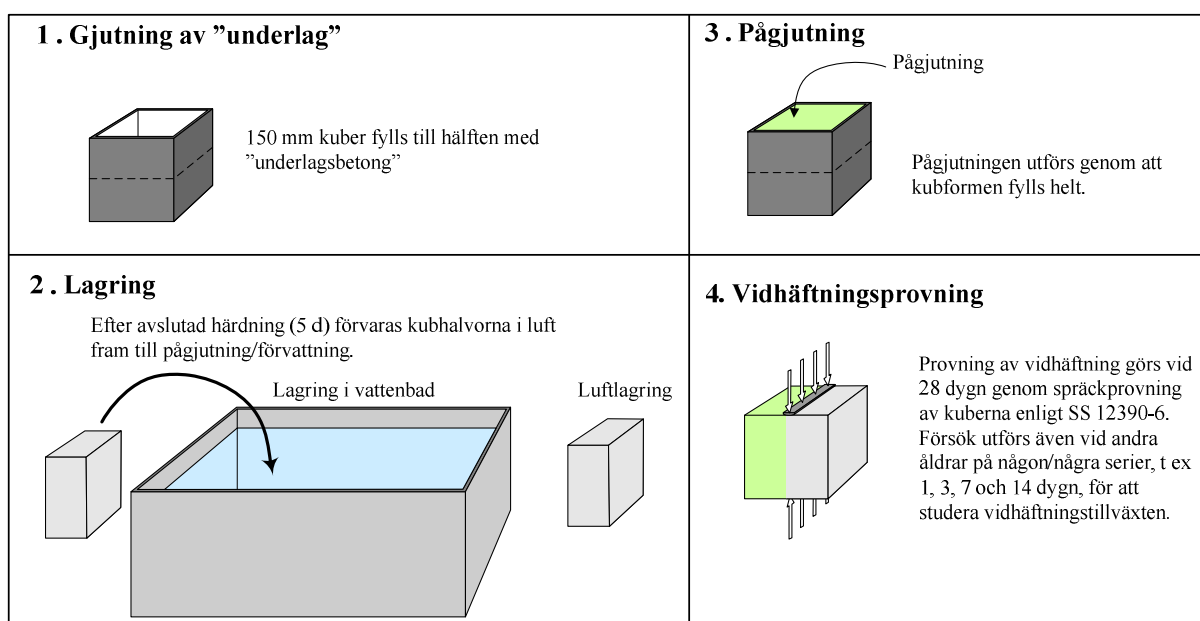
Figur 17 – Utdragshållfasthet vid pågjutning med SKB med vct 0,40 (blå), vct 0,55 (röd) och vct 0,70 (grön) på underlag med vct 0,70.

3 Vidhäftning utvärderad genom spräckprovning

3.1 Försöksutformning

Vidhäftningsprovning genom utdragsförsök alternativt rent dragprov av utborrad cylinder är svårt att genomföra på många laboratorier eftersom utrustning ofta saknas. Därför gjordes en undersökning för att värdera om vidhäftning kan utvärderas genom spräckning av kuber.

Försöken utfördes genom att kubformar först fylldes till hälften med betong. Dagen efter gjutning formades kubhalvorna av och placerades i vattenbad under 5 dygn för att därefter lagras i luft (RF 65 %, T 20°C) fram till 28 dygn. Sedan återplacerades kubhalvorna i formarna och fylldes med ny pågjutningsbetong. De pågjutna kuberna lagrades slutligen under plastfolie fram till 28 dygn då de provades genom spräckning enligt SS-EN12390-6. Provningsmetodiken redovisas i Figur 18.



Figur 18 – Utförande av laboratorieförsök för verifiering av underlagets och pågjutningens inverkan på vidhäftningen.

Inom försöksprogrammet studerades inverkan av betongsammansättning hos underlag respektive pågjutning på vidhäftningen. Underlagsbetongens vct var antingen 0,40, 0,55 eller 0,70 medan pågjutningsbetongen hade ett vct på 0,53. Recept redovisas i Tabell 3. Av vardera typ av underlagsbetong tillverkades 18 kuber, vilket gav ett totalt antal av 54 kuber.

Tabell 3 – Recept för underlagsbetong respektive pågjutningsbetong.

Material	Underlagstyp			Pågjutning
	Vct 0,40	Vct 0,55	Vct 0,70	
Cement Bygg	450	350	275	350
0/8 Kilanda	954	1000	1018	1000
11/16 Kålleröd	780	820	833	626
Kalkfiller				160
Sika 56	1,57	1,75	0	?
Vatten	180	192	192	187
vct	0,40	0,55	0,7	0,53

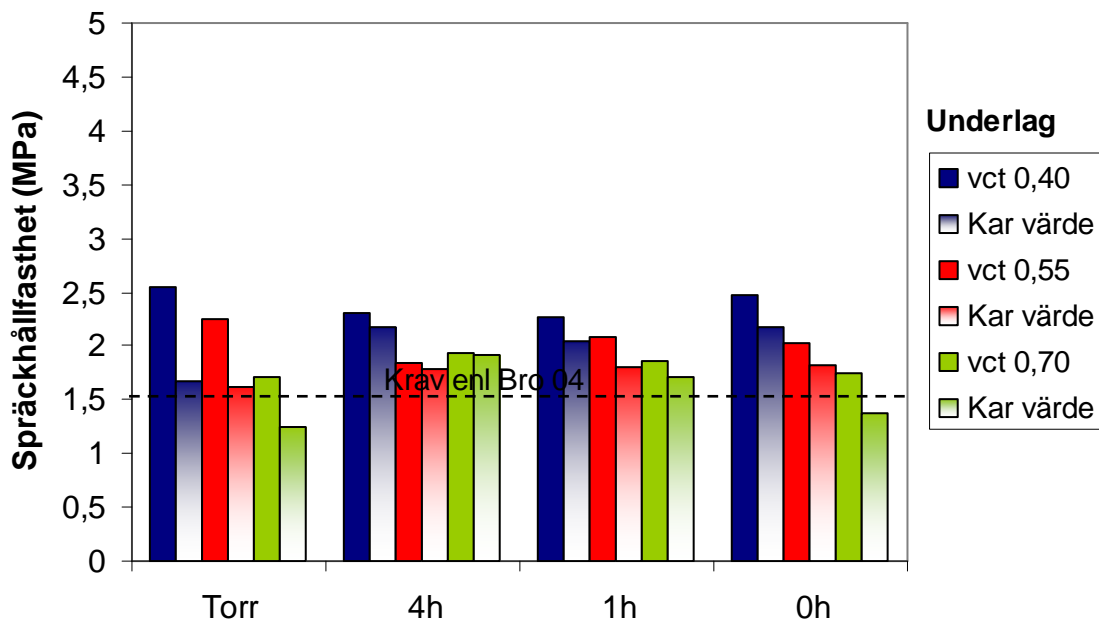
Före pågjutning behandlades motgjutningsytorna på lite olika sätt. Tre kuber av varje underlagsbetong lämnades torra medan övriga 15 förvattnades i 1 dygn. Tre av de förvattnade kubhalvorna hölls fuktiga ända fram till pågjutning medan övriga fick torka olika lång tid (0,5, 1, 2 och 4 timmar).

Pågjutning utfördes vid samma tillfälle och med samma betong (se Tabell 3). Därefter lagrades kuberna i 28 dygn för att därefter spräckas i fogytan.

Resultat från spräckförsöken sammanfattas i Figur 19. Det framgår att skillnaderna mellan olika alternativ blev relativt små, vilket innebär att det är svårt att dra några slutsatser. Möjligen var resultaten för helt torrt underlag något sämre genom att skillnaden mellan medelvärde och karakteristiskt värde blev lite större än för övriga fall, vilket tyder på större spridning.

Det finns två förklaringar till de små skillnaderna. Antingen påverkas inte vidhäftningen i så hög grad av de olika åtgärderna eller också är spräckprovning inte tillförlitligt. Eftersom viss skillnad har noterats då vidhäftning har mätts genom utdragsprovning i andra undersökningar lutar det åt det sistnämnda alternativet.

Pågjutning vct 0,53 på olika underlag



Figur 19 – Vidhäftning utvärderad genom spräckning av 150 mm kuber (se Figur 18). 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 (mv – 1,4·s, där s är standardavvikelse).

4 Rekommendationer avseende förbehandling av motgjutningsyta

I det följande ges lite rekommendationer för vilken behandling som kan vara lämplig och vilka som bör uteslutas baserat på resultat från vidhäftningsstudien presenterad i avsnitt 2. Spräckförsöken i avsnitt 3 lämnas utanför eftersom resultaten inte anses vara representativa. I viss mån har hänsyn även tagits till tidigare undersökningar utförda inom doktorsarbete (Carlsvärd, 2006), se bilaga B.

Tabell 4 – Rekommenderad förbehandling av motgjutningsytor vid betongpågjutning.

Underlag	Pågjutning	Rekommenderad förbehandling	Förbehandling att undvika
vct 0,40	vct 0,40	Förvattning + 17 h torkperiod, primer 1:3	Torrt underlag, vattning i anslutning till pågjutning
	vct 0,55	Torrt eller förvattning med eller utan torkperiod	Primer något sämre men går också bra
	vct 0,70	Primer 1:3 gav högst vidhäftning	Torrt underlag gav något större spridning
vct 0,55	vct 0,40	Förvattning + 12-17 h torkning	Torrt underlag, primer
	vct 0,55	Förvattning med eller utan uttorkning, torrt underlag	Primer framför allt med utspädning 1:1
	vct 0,70	Förvattning (båda alternativen) samt primer 1:3 bäst	Torrt underlag samt primer 1:1 gav enbart fogbrott, dock bra vidhäftning
vct 0,70	vct 0,40	Förvattning med eller utan torkperiod	Torrt underlag, primer bör också undvikas
	vct 0,55	Förvattning med eller utan torkperiod	
	vct 0,70	Förvattning utan torkperiod ¹ eller primer 1:3	Förvattning med 17 h torkning

⁽¹⁾ Svårt att se någon vettig förklaring eftersom både torrt och förvattnat underlag gav bra resultat medan förvattnat + torkning gav dåligt.

Sammanfattningsvis kan konstateras att det som oftast ger bäst vidhäftning är förvattning. I de flesta fall gav kombinationen med en uttorkningsperiod på 17 timmar efteråt de högsta värdena. Således kan man nog generellt rekommendera denna lösning vid de flesta pågjutningar även om pågjutning med vct 0,70 på vct 0,70 underlag gav något motstridigt resultat. Notera dock att förvattning inte får ske för sent. Det misstänks att sen vattning var skälet till den dåliga vidhäftning som uppnåddes i pågjutningsförsöken som beskrivs i bilaga B (se figur B5).

Om möjlighet till förvattning inte finns är primer med utspädningsgrad 1:3 oftast det bästa alternativet medan primer 1:1 och torrt underlag bör undvikas. Torrt underlag bör framför allt inte användas då pågjutningen utförs med betong med lågt vct. Däremot verkar torrt underlag ge klart godkänd vidhäftning då betong med lågt vct (icke sugande) pågjuts med betong med normalt vct (ca 0,55). Detta framgick om inte annat vid pågjutningsförsöken som beskrivs i bilaga B (se figur B5).

5 Referenser

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

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.

Bilaga A – Samtliga resultat från vidhäftningsprovning inom aktuell undersökning

Tabell A1 – Resultat från vidhäftningsprovning utförd genom utdragsprovning (se avsnitt 2).

Underlag, betong och yta		Pågjutningsbetong									
		SKB med vct 0,40			SKB med vct 0,55			SKB med vct 0,70			
SKB med vct 0,40	Torr	2,0 (f)	2,1 (f)	3,1 (f)	3,5 (p)	3,4 (p)	3,5 (p)	3,7 (f)	1,7 (f)	3,4 (f)	
		Medel (kar): 2,4 (1,6)			Medel (kar): 3,5 (3,4)			Medel (kar): 2,9 (1,5)			
	Förvattning 2d + 17 h torkning	3,9 (p)	3,9 (p)	4,0 (u)	3,4 (p)	2,8 (p)	3,2 (p)	2,5 (p)	2,0 (f)	3,4 (p)	
		Medel (kar): 4,0 (3,9)			Medel (kar): 3,1 (2,7)			Medel (kar): 2,6 (1,6)			
	Förvattning 2d, ingen torkning	1,6 (f)	4,5 (p)	3,5 (f)	3,6 (p)	3,5 (p)	3,0 (p)	2,5 (p)	1,9 (p)	1,8 (f)	
		Medel (kar): 3,2 (1,1)			Medel (kar): 3,4 (2,9)			Medel (kar): 2,1 (1,6)			
	Primer 1:3	3,7 (f)	3,8 (u)	4,0 (f)	3,6 (f)	2,9 (f)	3,2 (p)	3,1 (p)	2,9 (p)	2,4 (p)	
		Medel (kar): 3,8 (3,6)			Medel (kar): 3,2 (2,8)			Medel (kar): 2,8 (2,3)			
	Primer 1:1	2,6 (f)	3,0 (f)	2,6 (f)	2,5 (f)	2,9 (f)	3,2 (f)	2,0 (p)	2,3 (p)	2,3 (p)	
		Medel (kar): 2,7 (2,4)			Medel (kar): 2,8 (2,3)			Medel (kar): 2,2 (1,9)			
	SKB med vct 0,55	Torr	2,1 (f)	2,2 (f)	1,9 (f)	2,4 (u)	2,6 (f)	2,4 (u)	2,6 (f)	2,5 (f)	2,2 (f)
			Medel (kar): 2,1 (1,9)			Medel (kar): 2,5 (2,4)			Medel (kar): 2,4 (2,2)		
Förvattning 2d + 17 h torkning		3,0 (u)	2,7 (u)	2,8 (u)	3,1 (u)	3,6 (p)	3,3 (u)	2,2 (p)	3,2 (p)	2,6 (p)	
		Medel (kar): 2,8 (2,7)			Medel (kar): 3,3 (3,0)			Medel (kar): 2,7 (2,0)			
Förvattning 2d, ingen torkning		3,0 (u)	2,6 (u)	2,4 (u)	2,9 (p)	2,5 (u)	2,7 (u)	3,0 (p)	2,0 (u)	2,8 (p)	
		Medel (kar): 2,7 (2,2)			Medel (kar): 2,7 (2,5)			Medel (kar): 2,6 (1,9)			
Primer 1:3		2,2 (f)	1,0 (f)	2,3 (u)	2,4 (u)	2,2 (f)	2,4 (u)	2,5 (p)	2,3 (p)	2,5 (u)	
		Medel (kar): 1,8 (0,8)			Medel (kar): 2,3 (2,2)			Medel (kar): 2,4 (2,3)			
Primer 1:1		2,2 (u)	2,3 (f)	2,2 (f)	2,1 (f)	1,9 (u)	2,2 (f)	2,7 (f)	2,7 (f)	2,9 (f)	
		Medel (kar): 2,2 (2,1)			Medel (kar): 2,1 (1,8)			Medel (kar): 2,8 (2,6)			
SKB med vct 0,70		Torr	0,9 (f)	0,5 (f)	1,0 (f)	1,8 (f)	2,2 (f)	2,4 (f)	2,2 (f)	1,9 (f)	2,0 (u)
			Medel (kar): 0,8 (0,4)			Medel (kar): 2,2 (1,8)			Medel (kar): 2,0 (1,8)		
	Förvattning 2d + 17 h torkning	3,4 (u)	3,2 (f)	3,2 (u)	3,0 (u)	2,9 (p)	3,0 (u)	1,6 (f)	1,0 (f)	1,2 (f)	
		Medel (kar): 3,2 (3,1)			Medel (kar): 3,0 (2,8)			Medel (kar): 1,2 (0,8)			
	Förvattning 2d, ingen torkning	2,6 (u)	2,9 (u)	3,0 (f)	3,0 (p)	2,5 (u)	2,6 (u)	2,6 (p)	2,4 (p)	2,2 (u)	
		Medel (kar): 2,8 (2,5)			Medel (kar): 2,7 (2,3)			Medel (kar): 2,4 (2,1)			
	Primer 1:3	1,9 (f)	1,9 (f)	1,9 (f)	1,9 (f)	1,9 (u)	2,0 (f)	2,0 (u)	2,2 (u)	1,8 (f)	
		Medel (kar): 1,9 (1,8)			Medel (kar): 1,9 (1,8)			Medel (kar): 2,0 (1,7)			
	Primer 1:1	1,6 (f)	1,6 (f)	1,8 (f)	2,2 (u)	2,0 (f)	2,0 (f)	2,2 (f)	1,9 (f)	1,7 (f)	
		Medel (kar): 1,7 (1,6)			Medel (kar): 2,1 (1,9)			Medel (kar): 1,9 (1,5)			

(f) = fogbrott, (p) = brott i pågjutning, (u) = brott i underlaget, (kar) = karakteristiskt värde (mv – 1,4·s)

Tabell A2 – Resultat från vidhäftningsprovning genom spräckning av 150 mm kuber (se avsnitt 3).

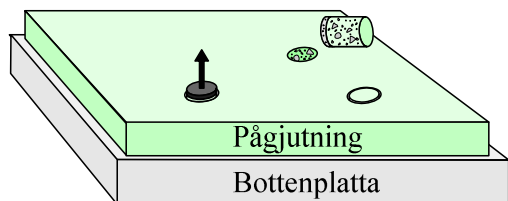
Underlag, betong och yta		Pågjutningsbetong typ SKB med vct 0,53							
Btg med vct 0,40	Torr	2,9 (f)	3,1 (f)	1,7 (f)					
		Medelvärde: 2,5 MPa, Standardavvikelse: 0,62 MPa, Karakteristiskt värde: 1,7 MPa							
	Förvattnad + 4 h torkning	2,2 (f)	2,3 (f)	2,4 (f)					
		Medelvärde: 2,5 MPa, Standardavvikelse: 0,62 MPa, Karakteristiskt värde: 1,7 MPa							
Btg med vct 0,55	Torr	2,2 (f)	2,8 (f)	1,7 (f)					
		Medelvärde: 2,2 MPa, Standardavvikelse: 0,45 MPa, Karakteristiskt värde: 1,6 MPa							
	Förvattnad + 4 h torkning	1,8 (f)	1,8 (f)	1,9 (f)					
		Medelvärde: 1,8 MPa, Standardavvikelse: 0,05 MPa, Karakteristiskt värde: 1,8 MPa							
Btg med vct 0,70	Förvattnad + 2 h torkning	2,2 (f)	2,1 (f)	2,4 (f)					
		Medelvärde: 2,2 MPa, Standardavvikelse: 0,12 MPa, Karakteristiskt värde: 2,0 MPa							
	Förvattnad + 1 h torkning	1,9 (f)	2,4 (f)	2,0 (f)					
		Medelvärde: 2,1 MPa, Standardavvikelse: 0,20 MPa, Karakteristiskt värde: 1,8 MPa							
	Förvattnad + 0,5 h torkning	1,8 (f)	2,1 (f)	2,0 (f)					
		Medelvärde: 2,0 MPa, Standardavvikelse: 0,13 MPa, Karakteristiskt värde: 1,8 MPa							
Btg med vct 0,40	Torr	2,1 (f)	1,8 (f)	1,3 (f)					
		Medelvärde: 1,7 MPa, Standardavvikelse: 0,33 MPa, Karakteristiskt värde: 1,2 MPa							
	Förvattnad + 4 h torkning	1,9 (f)	1,9 (f)	1,9 (f)					
		Medelvärde: 1,9 MPa, Standardavvikelse: 0,01 MPa, Karakteristiskt värde: 1,9 MPa							
Btg med vct 0,55	Förvattnad + 1 h torkning	2,0 (f)	1,7 (f)	1,9 (f)					
		Medelvärde: 1,9 MPa, Standardavvikelse: 0,11 MPa, Karakteristiskt värde: 1,7 MPa							
Btg med vct 0,70	Förvattnad + 0 h torkning	1,4 (f)	1,9 (f)	2,0 (f)					
		Medelvärde: 1,8 MPa, Standardavvikelse: 0,27 MPa, Karakteristiskt värde: 1,4 MPa							

(f) = fogbrott, (p) = brott i pågjutning, (u) = brott i underlaget, (kar) = karakteristiskt värde (mv – 1,4·s)

Bilaga B – Vidhäftningsprovning utförd inom tidigare SBUF-projekt

Vidhäftning utvärderad från pågjutna små plattor

Inom tidigare SBUF-finansierat projekt har två försöksserier genomförts för att studera inverkan av förvattning, primer och ytråhet (serie I i Figur B1). En försöksserie (serie II) utfördes även för att verifiera effekten av underlagsbetongens vct vid olika fuktförhållanden. Provning utfördes genom utdragsförsök av cylindrar från pågjutningar av självkompakterande betong (SKB) på betongunderlag enligt Figur B1.



3) Vidhäftningsprovning:

Serie I

- Fräst/slipad yta
- Förvattning/priming/torr

Serie II

- vct (bottenpl) 0,35, 0,45 och 0,55
- Förvattnad/torr yta

Figur B1 – Utdragsförsök för verifiering av vidhäftningshållfasthet.

Bottenplattorna i serie I tillverkades med betong med anläggningscement och vct 0,49 medan plattorna i serie II innehöll byggcement och hade vct 0,35, 0,45 och 0,55 (två av varje). Pågjutningsbetongen hade likadan sammansättning i båda försöksserierna (SKB med Byggcement och vct 0,53). Recept sammanfattas i tabell B1.

Tabell B1 – Recept för underlagsbetong respektive pågjutningsbetong.

Material	Försöksserie I		Försöksserie II			Pågjutning vct 0,53
	Underlag vct 0,49	Pågjutning vct 0,53	Underlag vct 0,35	vct 0,45	vct 0,55	
Cement Bygg		350	500	400	340	350
Cement Anl	350					
0/8 Kilanda	1007	1077	883	974	1046	1077
11/16 Kålleröd	824	580	815	797	757	580
Kalkfiller		150				150
Sika 56		3,9	5	3	1,5	6
Cementa 92M	3,7					
Vatten	170	185	175	180	187	185
vct	0,49	0,53	0,35	0,45	0,55	0,53

Resultat - vidhäftningsprovning

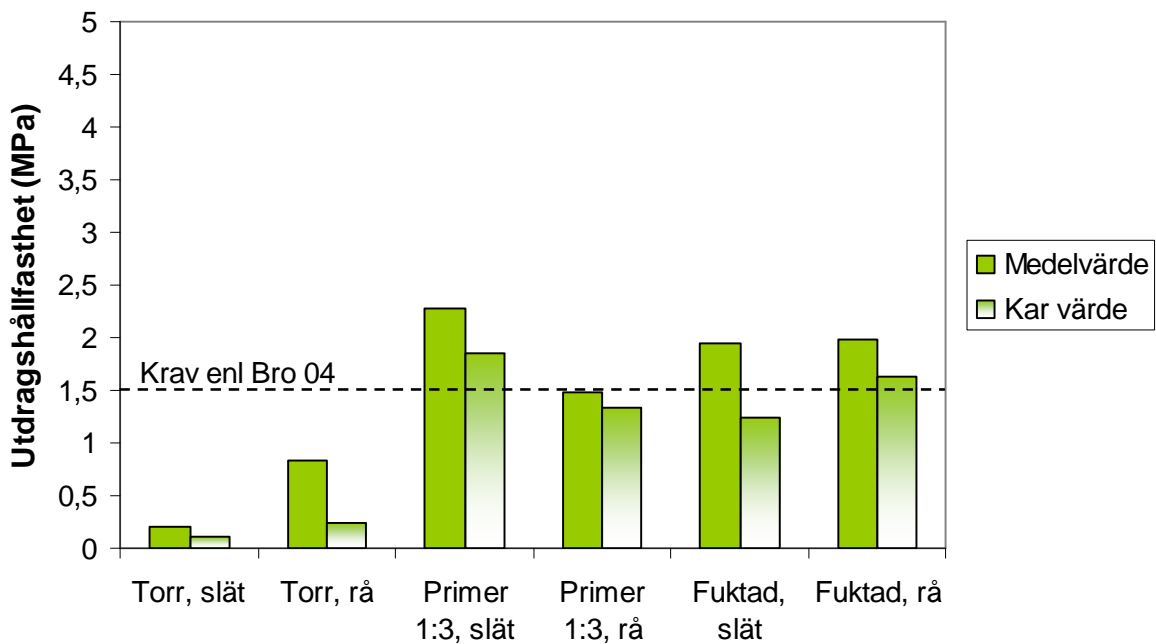
Resultat från vidhäftningsförsök redovisas i Figur B2 (serie I) och figur B3 (serie II). En sammanfattning av samtliga uppmätta värden ges även i tabell B2. Vid en jämförelse mellan serie I och II framgår att vidhäftningsnivån var klart högre i den andra serien (figur B3). Vad detta beror på kan diskuteras. Eftersom pågjutningsbetongen var lika i de två undersökningarna ligger det nära till hands att misstänka att skillnaden beror på underlagsbetongen. Möjligen kan egenskaperna av något skäl vara relaterat till valet av cementtyp (anläggningscement i serie I och byggcement i serie II).

Om man tittar på resultaten i serie I (figur B2) framgår att underlagets råhet inte är en avgörande faktor för vidhäftningskvaliteten. Man kan vidare konstatera att torrt underlag var det klart sämsta alternativet medan förvattning och primer 1:3 gav vidhäftning på ungefär samma nivå. En hypotes till att vidhäftningen blev så väldigt låg för torrt underlag är att

underlaget sög ut för mycket vatten ur pågjutningen, vilket möjligen kan ha haft påverkan på utvecklingen av vidhäftning.

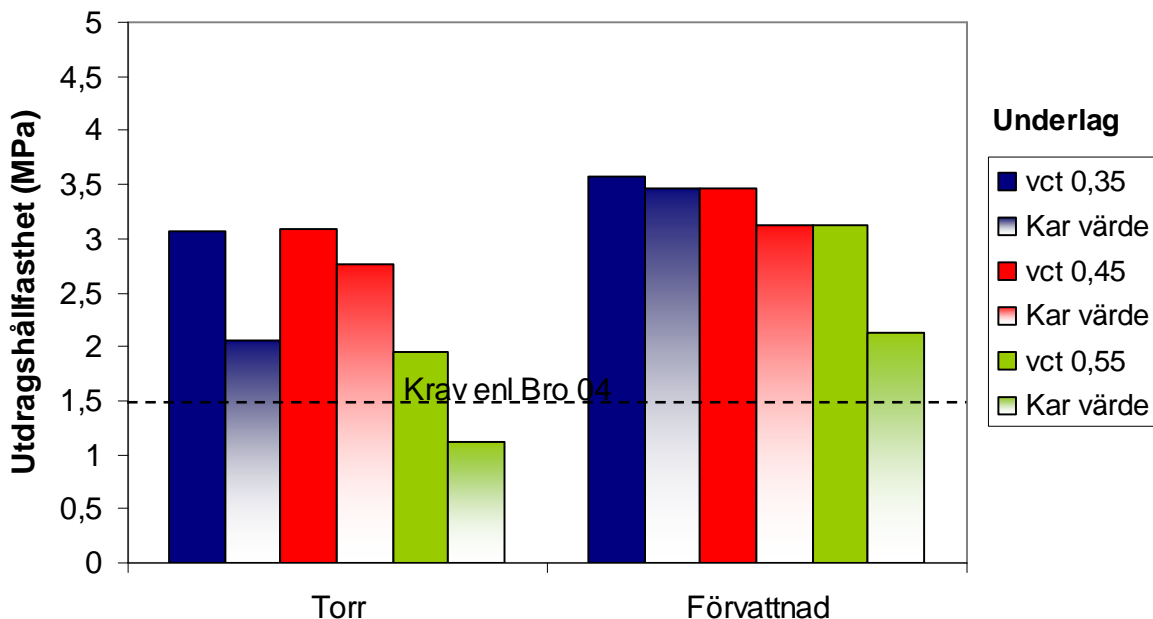
Denna hypotes stöds dock inte av resultaten i serie II (figur B3) där vidhäftningen blev relativt hygglig för samtliga tre underlag. Man kan i och för sig ana att skillnaden mellan förvattnat och torrt underlag var större då underlagets vct uppgick till 0,55. Eftersom det finns en koppling mellan vct och permeabilitet är det rimligt att anta att absorptionen var störst för detta underlag. Att vidhäftningen ändå blev bättre i detta fall jämfört med torrt underlag i serie I skulle kunna bero på att anläggningcementet (serie I) gav upphov till en mer permeabel betong. Möjligen kan även uttorkningstid, och klimat, före pågjutning ha spelat in. Eftersom fuktillstånd i underlaget inte har mätts upp så går detta dock inte att verifiera.

Pågjutning vct 0,53, underlag vct 0,49 (anl)



Figur B2 – Vidhäftning utvärderad genom utdragsprovning från pågjutna plattor på underlag med vct 0,49 (anläggningcement) som förbehandlats på olika sätt. I figuren redovisas medelvärde (3 prov/pågg) och karakteristiskt värde (mv – 1,4-s, där s är standardavvikelse).

Pågjutning vct 0,53, olika vct i underlaget



Figur B3 – Vidhäftning utvärderad genom utdragsprovning från pågjutna plattor (se figur x). Underlagets vct var 0,35, 0,45 och 0,55 medan pågjutning gjordes med SKB med vct 0,53. I figuren redovisas medelvärde och karakteristiskt värde (mv – 1,4·s, där s är standardavvikelse).

En sammanfattning av samtliga provresultat ges i tabell B2. Här framgår bl a medelvärden, karakteristiska värden samt även brotttyp (f = fogbrott, p = brott i pågjutning samt u = brott i underlaget).

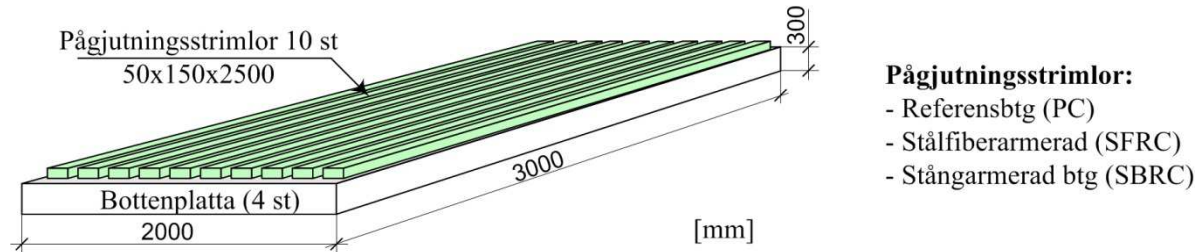
Tabell B2 – Samtliga resultat från vidhäftningsprovning från små plattor.

Underlag, betong och yta		Pågjutningsbetong								
		SKB med vct 0,58								
Btg med vct 0,35	Torr	3,4(f)	3,6(f)	2,7(f)	3,2(f)	2,8(f)	1,6(f)	3,4(f)	4,2(p)	2,7(f)
		Medelvärde: 3,1 MPa, Standardavvikelse: 0,73 MPa, Karakteristiskt värde: 2,1 MPa								
	Förvattnad	3,6(f)	3,7(u)	3,7(p)	3,5(p)	3,5(f)	3,5(p)			
		Medelvärde: 3,6 MPa, Standardavvikelse: 0,08 MPa, Karakteristiskt värde: 3,5 MPa								
Btg med vct 0,45	Torr	3,4(u)	2,6(u)	3,2(u)	3,2(u)	3,1(u)	3,1(u)			
		Medelvärde: 3,1 MPa, Standardavvikelse: 0,24 MPa, Karakteristiskt värde: 2,8 MPa								
	Förvattnad	3,6(u)	3,1(p)	3,8(u)	3,5(p)	3,4(p)	3,5(f)			
		Medelvärde: 3,5 MPa, Standardavvikelse: 0,25 MPa, Karakteristiskt värde: 3,1 MPa								
Btg med vct 0,55	Torr	1,3 (f)	2,(f)	2,1 (f)	1,0 (f)	1,5 (f)	2,8 (f)	2,7(f)	2,1 (f)	1,8(f)
		Medelvärde: 1,9 MPa, Standardavvikelse: 0,60 MPa, Karakteristiskt värde: 1,1 MPa								
	Förvattnad	1,8 (f)	2,8(f)	2,9 (f)	2,6 (f)	3,9(p)	3,4 (f)	3,2(f)	3,9 (f)	3,3(p)
		Medelvärde: 3,1 MPa, Standardavvikelse: 0,72 MPa, Karakteristiskt värde: 2,1 MPa								

(f) = fogbrott, (p) = brott i pågjutning, (u) = brott i underlaget, (kar) = karakteristiskt värde (mv – 1,4·s)

Vidhäftning utvärderad från långsmala pågjutningsstrimlor

Inom tidigare nämnt SBUF-finansierat projekt (se Carlswärd, 2006) göts långsmala pågjutningar på stora betongplattor som tillverkats ca 1 år i förväg och som lagrats i ett periodvis väldigt torrt klimat (under 20 % RF under vissa tider). Försökupställning visas i figur B4.



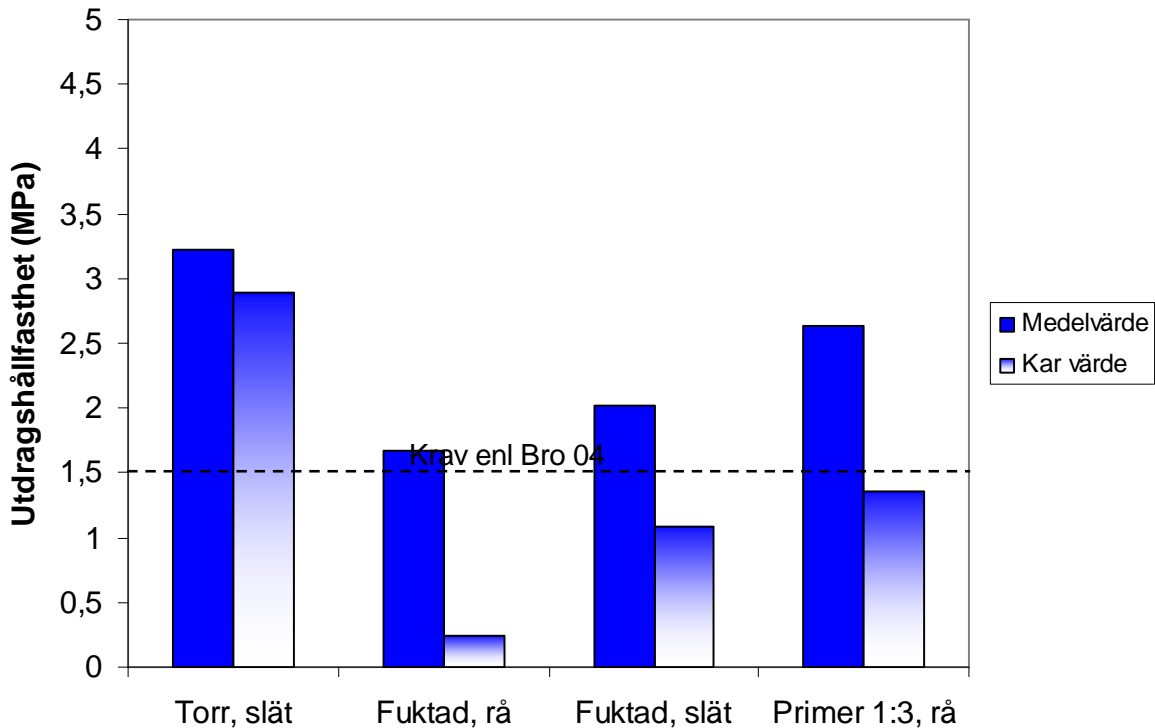
Figur B4 – Pågjutningsstrimlor göts med SKB vct 0,58 på gamla betongplattor.

Fyra stora underlagsplattor användes vid försöken. Före pågjutning preparerades ytorna på lite olika sätt i syfte att uppnå olika grad av vidhäftning. De olika alternativen var: (1) torr, slipad, (2) förvattnad, slipad, (3) förvattnad, fräst och (4) primad, fräst. Pågjutningsstrimlorna utsattes för ett relativt tufft uttorkningsklimat, vilket inom några dagar till veckor resulterade i krympsprickor och en del vidhäftningssläpp.

Efter ca 3 månader gjordes ett antal utdragsprov för att fastställa vidhäftningsnivån för de olika plattorna. Vid provtagning eftersträvades att hitta avsnitt som fortfarande satt fast i underlaget, dvs bomområden undveks.

Resultat visas i figur B5. Här framgår att vidhäftningen blev klart högst och jämnast för plattan som var torr och slipad, vilket var något förvånande. Övriga förbehandlingsalternativ ledde framför allt till stora variationer i vidhäftningsgrad men även lägre medelvärdesnivå. Sämst blev vidhäftningen för plattan som var förvattnad och hade en rå yta (fräst).

Resultaten stöds även av utvecklingen av sprickor och bomområden i pågjutningarna. I strimlorna som göts på den torra plattan uppstod ett stort antal väl fördelade fina sprickor (0,05-0,1 mm) utan att några bompartier utvecklades. Större bompartier var däremot frekventa för strimlorna på de andra plattorna, vilket även resulterade i enstaka sprickor med större bredd.



Figur B5 – Vidhäftning utvärderad genom utdragsprovning från pågjutna strimlor på underlag med vct 0,38 som behandlats på olika sätt. I figuren redovisas medelvärde (6-9 prov) och karakteristiskt värde (mv – 1,4·s, där s är standardavvikelse).

En rimlig förklaring till den ojämna vidhäftningen för de förvattnade fallen är att förvattningen möjligen gjordes på ett felaktigt sätt. Vatten tillsattes först ca 2 dygn före pågjutning varefter ytan hölls täckt med plastfolie. Under de 2 dyggen tillsattes mer vatten då ytan började torka ut. Den sista vattningen utfördes tyvärr precis i anslutning till pågjutning, vilket sannolikt innebar att ytan var helt fuktmättad. Möjligen kan den höga fukthalten i ytan ha hindrat utvecklingen av vidhäftning.

En viktig slutsats är därmed att sen vattning bör undvikas om man vill uppnå hög vidhäftning. Dessutom kan man konstatera att primer gav ojämn vidhäftning, åtminstone vid pågjutning på betongunderlag med lågt vct, och därmed inte heller är att rekommendera.

En sammanfattning av samtliga vidhäftningsresultat för de pågjutna strimlorna redovisas i tabell B3, där det även framgår vilken typ av brott som uppstått. Den goda vidhäftningen för torrt underlag verifieras av att samtliga brott skedde i pågjutningen (1 i underlaget) medan fogbrott var klart dominerande för övriga förbehandlings.

Tabell B3 – Samtliga resultat från vidhäftningsprovning från pågjutningsstrimlor.

Underlag, betong och yta	Pågjutningsbetong								
	SKB med vct 0,58								
Torr, slät platta	3,2(p)	3,1(p)	3,2(p)	3,3(p)	3,4(p)	3,7(p)	3,0(u)	2,9(p)	
	Medelvärde: 3,2 MPa, Standardavvikelse: 0,24 MPa, Karakteristiskt värde: 2,9 MPa								
Förvattnad, fräst platta	2,4(f)	2,4(f)	2,8(f)	0,6(f)	0,5(f)	1,3(f)			
	Medelvärde: 1,7 MPa, Standardavvikelse: 1,02 MPa, Karakteristiskt värde: 0,2 MPa								
Förvattnad, slät platta	1,4(f)	2,5(p)	2,8(p)	2,2(p)	1,7(f)	1,6(f)	1,4(f)	1,4(f)	3,1(p)
	Medelvärde: 2,0 MPa, Standardavvikelse: 0,66 MPa, Karakteristiskt värde: 1,1 MPa								
Primad, fräst platta	3,6(p)	2,4(f)	2,9(f)	1,0(f)	3,3(f)	2,6(p)			
	Medelvärde: 2,6 MPa, Standardavvikelse: 0,91 MPa, Karakteristiskt värde: 1,4 MPa								

(f) = fogbrott, (p) = brott i pågjutning, (u) = brott i underlaget, (kar) = karakteristiskt värde (mv – 1,4·s)