

Sprutbetongs vidhäftning mot betong

Elforsk rapport 01:11

Sprutbetongs vidhäftning mot betong

Elforsk rapport 01:11

Sprutbetongs vidhäftning mot betong

Elforsk rapport 01:11

Daniel Eklund

Sammanfattning

Sprutbetongens vidhäftningskvalité på underlaget är av avgörande betydelse för hur pågjutningen skall samverka med underlaget. Ur konstruktiv synvinkel är samverkan mellan betong och underlag en av de absolut viktigaste lastupptagande verkningssätten för pågjutningen. Syftet med detta projekt är att påvisa underlagets beskaffenhet och dess betydelse för vidhäftningshållfastheten mellan sprutbetong och underlag. De behandlingsmetoder som studerats är förvattning och brädrivning av underlag respektive pågjutningsyta.

Projektet har utförts i två huvuddelar, litteraturstudie och laborationer. Litteraturstudien omfattar delar av tidigare känd kunskap om vidhäftningshållfasthet och underlagsbetongens beskaffenhet för god vidhäftning. Laborationerna omfattar torrsprutad betong applicerad på olika typer av underlag.

En av slutsatserna som kan dras av projektet är att resultaten pekar på att en bättre vidhäftningshållfasthet kan erhållas om ett underlag av låg kvalitet (låg tryckhållfasthet och hög permeabilitet) förvattnas innan pågjutning. Negativt för vidhäftningshållfastheten är dock om man genom brädrivningen orsakar skjuvning av den färska betongen i kontaktzonen mellan pågjutning och underlag. Studien påvisar tendenser av att underlagets råhet spelar en viktig roll för att förhindra att en skjuvzon bildas mellan pågjutning och underlag vid efterbehandling av pågjutningsytan med brädrivning.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING.....	1
2	SYFTE OCH MÅL	2
3	GENOMFÖRANDE	3
3.1	ALLMÄNT.....	3
3.2	LITTERATURSTUDIE	3
3.3	LABORATIONER	6
4	RESULTAT	11
4.1	FÖRVATTNING	11
4.2	BRÄDRIVNING.....	13
	PÅSLAGSTJOCKLEK	16
5	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	17
5.1	FÖRVATTNING	17
5.2	BRÄDRIVNING.....	18
5.3	FRAMTIDA FORSKNINGSBEHOV	19
6	REFERENSER.....	21

Bilagor

- A RESULTAT VID VIDHÄFTNINGSPROVNING**
- B RECEPT FÖR UNDERLAGSBETONG**

1 Inledning

Sprutbetongens vidhäftningskvalité mot underlaget, är av avgörande betydelse för hur pågjutningen skall samverka med underlaget. Ur konstruktiv synvinkel för resultatet av sprutbetongens förstärkningseffekt, är samverkan mellan betong och underlag en av de absolut viktigaste lastupptagande verkningssätten för pågjutningen. En nackdel med vidhäftning som lastupptagande egenskap är dess spröda brott vid överbelastning. En utförd pågjutning med sprutbetong av för låg vidhäftningshållfasthet, resulterar i regel i mödosamma åtgärder för att klara uppställda krav på förstärkningens bärförmåga. Ett antal olika alternativ finns att tillgå:

1. Bortbilning av partier med dålig vidhäftning
2. Komplettering med bergbult och mer sprutbetong.
3. Dimensionera förstärkningen genom sprutbetongbågar.

Alternativ 2 får anses som den mest använda metoden. Alternativ 1 bortfaller i regel av kostnads- och tidskäl, alternativ 3 medför en kraftigt reducerad tvärsektion. [6]

Relativt många studier har belyst problematiken kring orsaken till dålig vidhäftning hos gjutbetong. Det finns ett fåtal studier som behandlar de mekanismer som huvudsakligen styr den färska och hårdnade vidhäftningen av sprutbetong. Särskilt vidhäftning mellan sprutbetong och underlag av betong.

2 Syfte och mål

Syftet med studien är att påvisa underlagets betydelse för vidhäftningens hållfasthet mellan sprutbetong och underlag samt att studera för- och efterbehandlingar av underlaget och pågjutningsytan. Studien syftar även till att utveckla en ökad kunskap om vilken dominerande mekanism som styr den färska betongens vidhäftning till underlaget. Målet med studier av sprutbetongs vidhäftningsegenskaper är att kunna förutsäga och förhindra att pågjutningar utförs med en undermålig vidhäftnings hållfasthet, som resultat av att underlaget eller sprutbetongen inte har de rätta egenskaperna.

3 Genomförande

3.1 Allmänt

Studien har utförts i två huvuddelar, litteraturstudie och laborationer. Litteraturstudien omfattar delar av tidigare känd kunskap om vidhäftningshållfasthet och betongens beskaffenhet för god vidhäftning. Laborationerna omfattar torrsprutad betong applicerad på olika typer av underlag. Vidhäftningshållfastheten har kvantifierats både i färskt och hårdnat tillstånd. I färskt tillstånd har ett förväntat porundertryck uppskattats med hjälp av en portrycksmätare, vilken är monterad i kontaktzonen mellan pågjutning och underlag. Den hårdnade vidhäftningen har provats genom dragprovning (dragvidhäftningshållfasthet) av sprutbetongen från dess underlag (enl. standard SS 13 72 43). Underlagen består av två olika typer av betongkvaliteter, K 15 och K 40. Inverkan av för- och efterbehandlingsmetoder på underlaget har undersökts. De för- och efterbehandlingar som utförts är förvattning och brädrivning. Inverkan av underlagets ytstruktur har undersökts genom sprutning på underlag med skilda råheter.

Den hårdnade sprutbetongens vidhäftning mot underlaget, definieras i denna studie som den draghållfasthet som finns mellan underlagsbetongen och den nya pågjutningen. Vidhäftningshållfastheten är alltså förmågan att överföra dragkraft mellan två skikt.

Den färska betongens vidhäftningshållfasthet är av mer komplex natur. Vidhäftningshållfastheten i den färska pågjutningen kvantifieras som en kombination av skjuv- draghållfasthet samt porundertryck (sugkraft) mellan pågjutningen och underlaget. Påbyggnadstjockleken kan sägas utgöra ett mått på den färska pågjutningens förmåga att uppta drag- och skjuvkrafter i kontaktytan mellan pågjutning och underlag.

3.2 Litteraturstudie

3.2.1 Underlagets beskaffenhet

Underlagets beskaffenhet anses i de flesta studier starkt inverka på vidhäftningshållfastheten och i många fall ha en större betydelse än den applicerade betongens egenskaper. Studien [3] har undersökt underlagens ytkvalité (ytjämnhet, ytstyrka). Slutsatsen av studien är att om underlaget har godtagbar ytstyrka så påverkas inte nämnvärt vidhäftningshållfastheten av en råare yta. Vid en låg ytstyrka på underlaget är dock en råare underlagsyta att föredra. Svårigheter föreligger att på ett relevant sätt karaktärisera ytstyrkan på underlaget. Ritsning och pålimning av dragklackar på underlaget, föreslås för bestämning av ytstyrkan.

Enligt en artikel [5] anses texturen på underlaget inte nämnvärt inverka på vidhäftningen. Uppkomst av t.ex. mikrosprickor under förbehandling torde inte påverka hållfastheten. Det skall dock påpekas att olika behandlingsmetoder av underlaget medför olika typer av texturer. Vattenbilade ytor har t.ex. en annan karaktär på ytans råhet och antal mikrosprickor, jämfört med en mekaniskt bearbetad yta. Artikeln belyser vikten av att avlägsna all eventuell cementhud på kontaktytan före påbörjande av gjutning.

3.2.2 Behandlings metoder

Studien [3] avser gjutbetong och belyser betydelsen av fogytans behandling (förvattning, ej förvattning) och pågjutningens komprimering (vibrering, vakuumbehandling). Komprimeringsgraden är förmodligen även av största vikt för sprutbetongens vidhäftning. Erhållen komprimeringsgrad av sprutbetongen kan härledas både till använt spruttryck och den använda betongens sammansättning av materialfraktioner. Studien påvisar att en pågjutning med gjutbetong minskar vidhäftningshållfastheten med 70 %, vid en minskning av kompressionen till $\frac{1}{4}$ av ursprungligt värde. Vakuumbehandling av utförda pågjutningar i studien, medförde dock en klart ökad vidhäftning (ca 40 %) vid en ursprunglig hållfasthet på ca 1 MPa.

Studien [1] påvisar i en undersökning att förvattning av underlaget inte påverkar vidhäftningen av sprutbetongen nämnvärt. Det skall dock påpekas att undersökningen endast avser underlag av relativt höghållfast betong.

Gemensamt för alla genomgångna studier rörande behandlingar för att förbättra betongs vidhäftningshållfasthet, är att fritt vatten absolut ej får förekomma i fogytan. Fritt vatten på underlaget vid pågjutningen kan helt ödelägga vidhäftningen.

Studien [4] har gjort en omfattande utredning om huruvida förbehandling av underlaget påverkar vidhäftningen. Studien visar att underlaget har en större inverkan på vidhäftningens hållfasthet än receptet på sprutbetongen. Den bästa vidhäftningen (ca 1.5- 2 MPa) erhöles för en ren och rå underlagsyta (vattenbilning och sandblästring).

En artikeln [5] belyser att det ibland kan vara nödvändigt att förvattna underlaget för att kyla ned det innan pågjutningen sker. Ett för varmt underlag medför en ökad risk för sprickbildning i pågjutningen under dess härdning. Vidhäftningen kan även nedsättas p.g.a. en alltför häftig absorption av vatten från pågjutningen till underlaget.

Studier på inverkan av bearbetning av underlagsytan redovisas i artikeln [7]. Studien har genomförts så att man har gjutit underlag, vilka är 600*800*125 mm (bredd*höjd*tjocklek), bearbetat ytan på olika sätt och därefter gjort en pågjutning på 60 mm. Undersökningen redovisar fyra tydliga slutsatser:

1. Någon form av bearbetning av underlaget är nödvändig, för att rengöra och skapa en gynnsam textur för god vidhäftningshållfasthet mot underlaget.
2. En förbehandlingsmetod som ger en grov yttextur medför ett minskat behov av behandling av ytan med vidhäftningspreparat (t.ex. epoxi), vilken förbättrar vidhäftningen. Den mekaniska vidhäftningen mot den skrovliga ytan blir i detta fall dominerande.
3. Vid en förbehandling som innebär en mindre grov yttextur på underlaget, kan en behandling av vidhäftningsytan med t.ex. epoxi vara befogad. Porstrukturen i ytan på ett underlag som enbart har behandlats med t.ex. stålborste, är för tät för att cementkornen skall kunna tränga in och utbilda en mekanisk vidhäftning. Vidhäft-

ningsmedlet kan med sin lägre viskositet och flytbarhet, att tränga in i porstrukturen och bygga upp en stark vidhäftningsyta mellan pågjutning och underlag.

4. Undersökningen redovisar att det inte klart kan beläggas att behandling av vidhäftningsytan med polymer- eller epoximedel avsevärt förbättrar vidhäftningshållfastheten, jämfört med förbehandling av konventionell cement- sandslurry på vidhäftningsytor med liten råhet.

3.2.3 Fogens kvalité

När vidhäftnings hållfastheten överskrids går kontaktfogen mellan betong och underlag till brott. Brottet definieras i studien [2] som vidhäftningsbrott om mindre än 10 % av brottytan inkluderar berg eller betong från underlaget. Undersökningen [1] visar att en god vidhäftning uppvisar en god struktur i fogen mellan pågjutning och underlag, d.v.s. lite sprickor och luftinneslutningar. Fogen undersöktes i polarisationsmikroskop med hjälp av tunnslip (20 µm).

Studien [3] utgår från att den färska vidhäftningen till stor del beror av mekanisk adhesion, d.v.s. att cementpastan i pågjutningsbetongen tränger in i porer och ojämnheter i underlaget och i hårdnat tillstånd åstadkommer mekanisk förankring.

Enligt studien [6] så är den s.k. murbrukseffekten en viktig egenskap för att erhålla hög hållfasthet i fogen mellan pågjutning och underlag. Anslagsenergin vid appliceringen av sprutbetongen medför att betongen tränger in i och förseglar underlaget. Effekten torde vara mest uttalad vid sprutning på poröst eller sprucket underlag, exempelvis berg.

3.2.4 Betongens kvalité

Undersökningen [3] påvisar att en ökad cementshalt i pågjutningen förbättrar vidhäftningen, troligen beroende på att den specifika ytan i pågjutningen ökar och därmed även den möjliga vidhäftningsytan. Vattencementtalet (vct) har troligen även en stor inverkan på vidhäftningshållfastheten.

En betong med högt vct som gjuts mot ett starkt vattenabsorberande underlag, har uppvisat både god färsk och hårdnad vidhäftning. Den omvända kombinationen har även identifierats för en god vidhäftningshållfasthet för pågjutningen. (lågt vct och låg permeabilitet på underlaget). Det vct i sprutbetongen som medför den bästa vidhäftningshållfastheten beror således på hur kappilärsugande underlaget är.

Undersökningen publicerad i [5] påvisar att inblandning av vidhäftningsmedel i pågjutningsbetongen, torde minska krympspänningar och termisk rörelse i främst vanlig gjutbetong. Spridningen av resultaten från vidhäftningsprovning blev dock avsevärt större än vid utan tillsats. Vid sprutbetongens vidhäftning är det troligen så att enbart cementpastan initiiellt fastnar på underlaget. Större stenar fastnar först när ett tillräckligt tjockt lager cementpasta byggts upp. [8]

3.3 Laborationer

3.3.1 Underlagsbetong

Det har utförts 16 st olika sprutningar på olika underlag och under olika förutsättningar. Provningsmatrisen har valts enligt;

Underlag: Bra Betong, K 40 (BB) och Dålig Betong, K 15 (DB)

Förbehandling: Förvattning (Fv)

Efterbehandling: Brädrivning (Br)

Underlagsyta: Grov underlagsyta (Gu) och Fin underlagsyta (Fu)

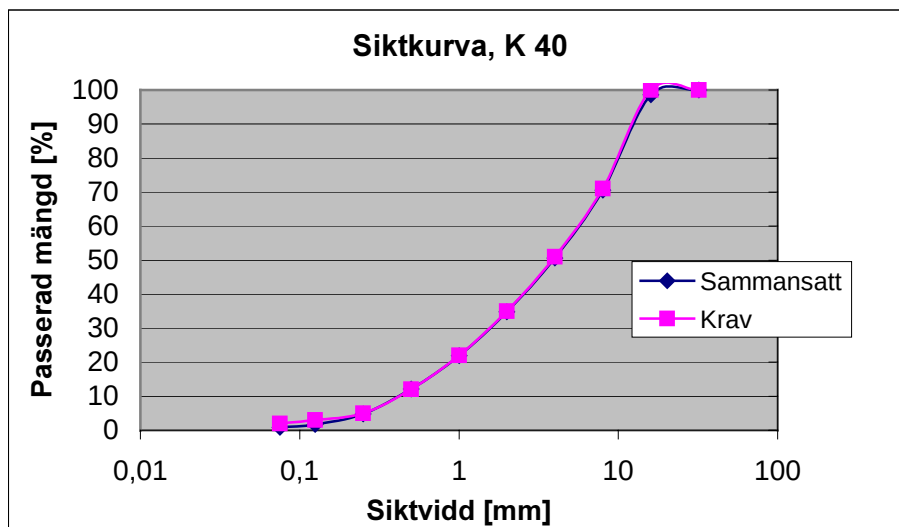
Bra och **Dålig** underlagsbetong testas enligt följande:

Tabell 1 **Provningsmatris.**

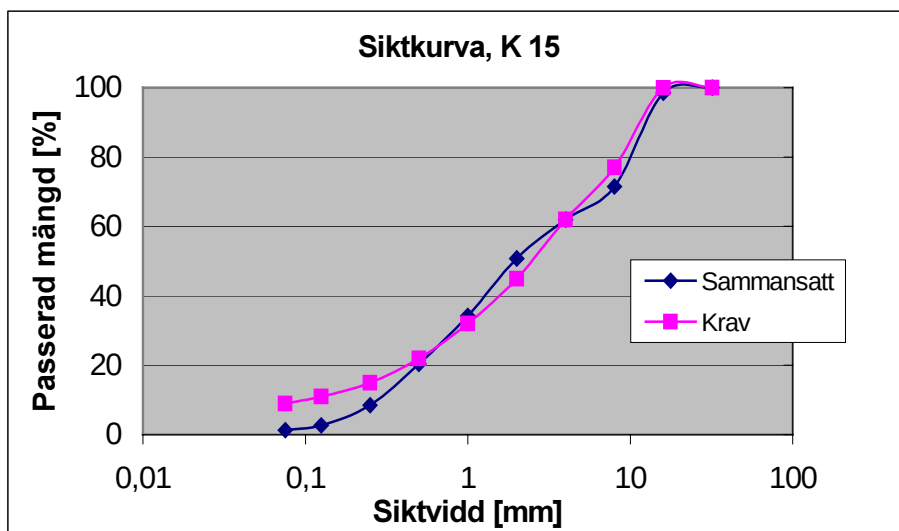
(BB), (DB)	
1. /Fu	5. /Fu/ Br
2. /Fu/ Fv	6. /Gu/ Br
3. /Gu	7. /Fu/ Fv/ Br
4. /Gu/ Fv	8. /Gu/ Fv/ Br

Med **bra** och **dålig** betong avses i denna studie betong med bra och dålig tryckhållfasthet (K 40 respektive K 15).

Den bra underlagsbetongen innehåller en ballastblandning, vilken uppvisar en väl anpassad siktkurva till normkurvan för betongtypen (Recept se bilaga B). Den dåliga betongens ballast innehåller lite finmaterial och lite cement, varför betongblandningen kan betecknas som grusig i konsistensen (Recept se bilaga B). Riktvärdet för tryckhållfastheten för den bra betongen är ca 40 MPa och för den dåliga betongen ca 15 MPa. Resultat från provtryckning av kuber, se tabell 2. Siktkurva för ballasten i de båda underlagsbetongerna framgår i figur 1 och 2.



Figur 1 Siktcurva för den bra underlagsbetongen (K 40).



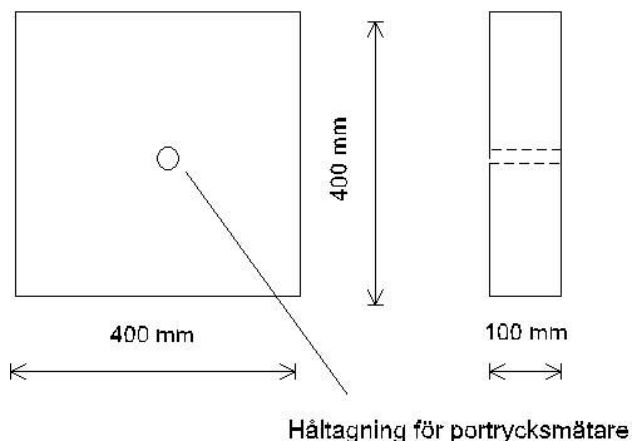
Figur 2 Siktcurva för den dåliga underlagsbetongen (K 15).

Tabell 2 Provning av underlagsbetong.

Kvalité	Lufthalt	Tryckhållfasthet
	[%]	[MPa]
Bra betong	2,3	52
Dålig betong	3,2	17

Underlagsbetongen gjöts i formar som har måtten 400*400*100 mm. För att erhålla olika ytjämnheter på underlagen har en ytretarder använts. Vid gjutningen av underlagsbetong med grov vidhäftningsyta förbehandlades gjutformen med en ytretarder. Ett dygn efter gjutning rensolades vidhäftningsytan från ytretarder med vatten, med ett tryck av ca 200 bar. Underlagsbetongen erhöll härmed en grov yta på vilken sprut-

betongen sedan appliceras. Underlaget med en slät vidhäftningsyta (fin yta), behandlades ej med ytretarder utan avspolades endast med vatten efter ett dygn, under ett tryck av ca 200 bar. Avspolningen av den släta ytan avser att avlägsna all cementhud på vidhäftningsytan.



Figur 3 Mått på underlagsbetong.

Underlagen lagras första dygnet efter gjutning under plastfolie i rumstemperatur (20 °C), för att sedan under de kommande 4 dygnen vattenbegjutas. Efter avslutad bevattning av underlagen, luftlagras de i ca 20 °C i ca 30 dagar innan de användes i försöket.

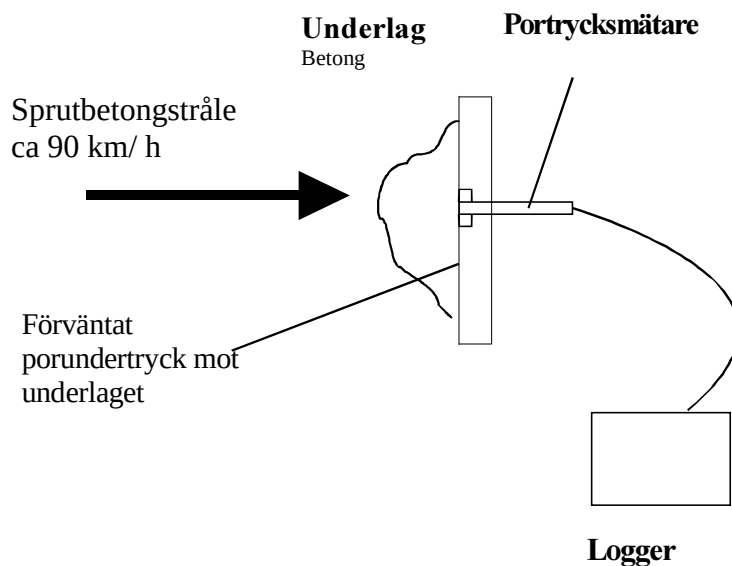
3.3.2 Sprutning

Mätmetoder

Olika mätmetoder används för att karaktärisera den torrsprutade betongen under sprutning och resultatet efter sprutningen. Primärt är det sprutresultatet (färsk och hårdnad vidhäftningshållfasthet) som är av största intresse i denna studie, varför konsistens, lufthalt mm. inte närmare har undersökts. De parametrar som studerats i laborationerna är:

- Portrycksmätning
- Pumptryck
- Maximal påbyggnadstjocklek.
- Vidhäftning i hårdnat tillstånd.

Pumptrycket har under samtliga sprutningar varit konstant ca 2-3 bar.



Figur 4 Mätning av porundertryck.

Sprutningen av provkropparna utfördes med ett färdigblandat torrbruk av fabrikat "Specialmörtel från mortelverket Forsand" levererat från Modern Betongteknologi AB. Bruket förfuktades innan sprutning med ca 2 % vatten per blandning beräknat på använd vikt bruk. Förfuktningen genomfördes i syfte att minska dammbildning under sprutning. Förfuktningen av underlagsbetongens pågjutningsyta utfördes genom att med en sprayflaska duscha pågjutningsytan till en fuktig yta utan förekomst av fritt vatten. Sprutningen genomfördes med konstant vattentillsats på ca 3,2 dm³/ min. Sprutmunstycket hölls under sprutningen på ett konstant avstånd från underlaget på ca 2 m. Under och efter avslutad sprutning av varje provkropp genomfördes en portrycksmätning, under totalt ca 30 min. Efter avslutad sprutning av samtliga provkroppar sprutades 3 st kuber med måtten 150*150*150 mm för att senare provtryckas för bestämning av tryckhållfasthet.

3.3.3 Lagring och provning av hårdnad betong

Provkropparna fukthärdades under fem dygn efter gjutning för att minska risken för plastiska krympsprickor samt ogynnsam differenskrämpning. Efter avslutad fukthärdning placerades provkropparna i rumstemperatur (20 °C) och normalt inomhus klimat i 23 dygn (lagring i totalt 5+23= 28 dygn). De sprutade provkuberna sågades upp efter avslutad lagring i mindre kuber (70*70*70 mm) för att provtryckas.

Tabell 3 Tryckhållfasthet för sprutbetong.

Kub nr.	Tryckhållfasthet [MPa]
1	71,5
2	82,8
3	61,2
Medelvärde:	71,8

Ur samtliga provkroppar med olika underlagsbetonger kärnborrades det ut tre st. kärnor. Draghållfastheten för varje provkropp (underlag) beräknades som medelvärdet av de hållfastheter som erhöles för de tre borrhärnorna. Tre typer av brottnoder för dragprovet kunde urskiljas. Brott i:

1. Underlag
2. Vidhäftningszon
3. Sprutbetong

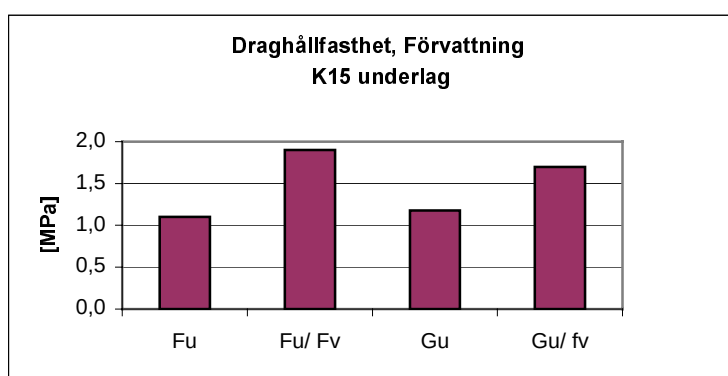
Det skall påpekas att dragvidhäftningshållfastheten endast exakt kan bestämmas vid inträffande av brottnod nr. 2, brott i vidhäftningszonen.

4 Resultat

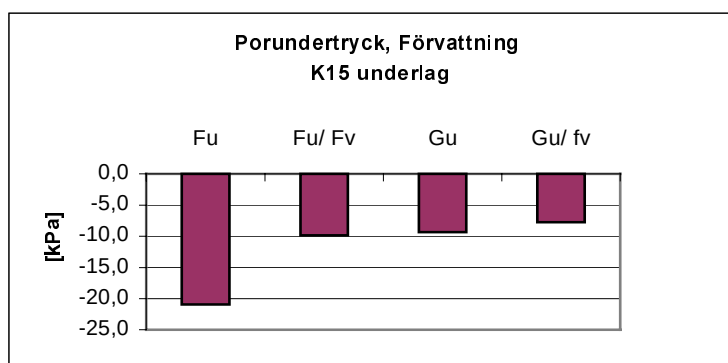
Resultaten från denna studie omfattar endast ett fåtal utförda försök, varför enbart indikationer på hur olika faktorer inverkar på vidhäftningshållfastheten kan fastställas. Mätresultat med starkt avvikande mätvärden (t.ex. mätfel eller onaturliga variationer i materialkvalité) har filtrerats bort vid nedanstående redovisning av resultat, se bilaga A.

4.1 Förvattning

Delade meningar råder om huruvida det underlag som skall pågjutas med sprutbetong skall förvattnas eller ej. Utförda försök med torrsprutad betong indikerar att förvattning både kan försämra och förbättra den hårdnade vidhäftningshållfastheten för pågjutningen mot underlaget.

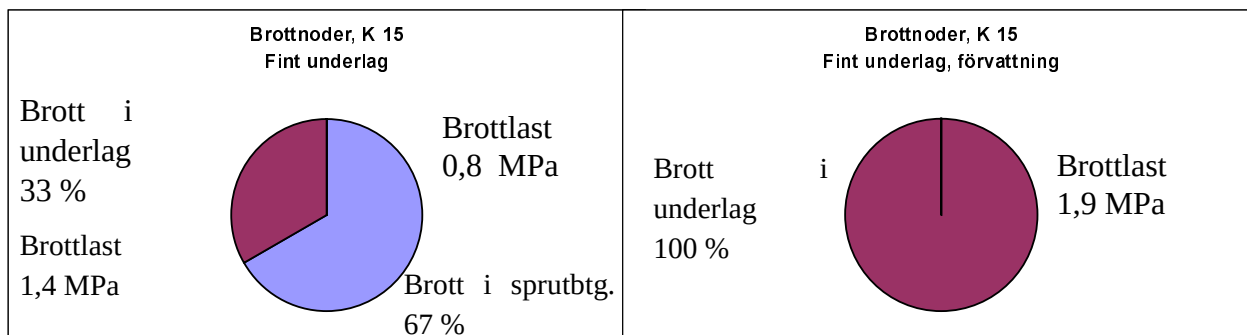


Figur 5 Draghållfasthet vid förvattning på underlag av låg kvalitet.



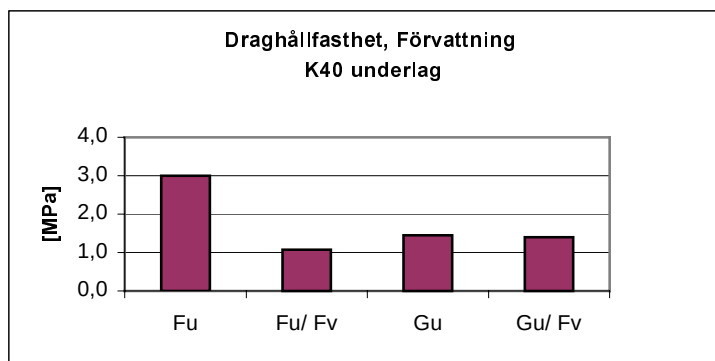
Figur 6 Porundertryck vid förvattning av underlag med låg kvalitet.

Figur 7 indikerar att förvattning av underlaget kan förbättra hållfastheten i sprutbetongen vid dragprovning. Det skall dock påpekas att inga vidhäftningsbrott inträffade vid provningen i figur 7, se vidare bilaga A. Brottlasterna har beräknats som medelvärdet av de tre dragproven (om flera brott har inträffat som samma brottnod).

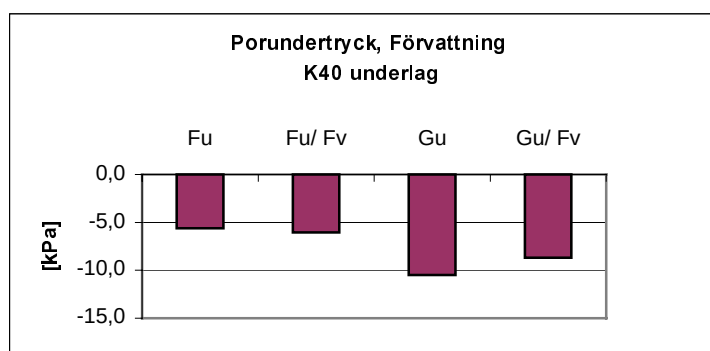


Figur 7 Brottnoder före och efter bevattning av underlag.

Resultaten av förvattning på underlagen med grov ytstruktur visade en identisk fördelning av brottnoderna, se bilaga A.

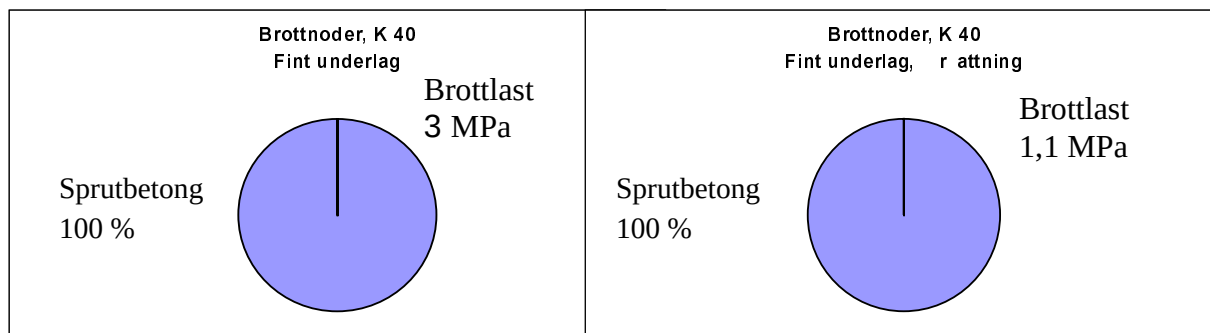


Figur 8 Draghållfasthet vid förvattning på underlag av god kvalitet.



Figur 9 Portrycket vid förvattning på underlag av god kvalitet.

Figur 8 och 9 påvisar en tendens att förvattning möjligen försämrar draghållfastheten. Vid provdragning av dessa borrhärdar inträffade brottet ej i vidhäftningszonen utan utslutande i sprutbetongen, se vidare i bilaga A.



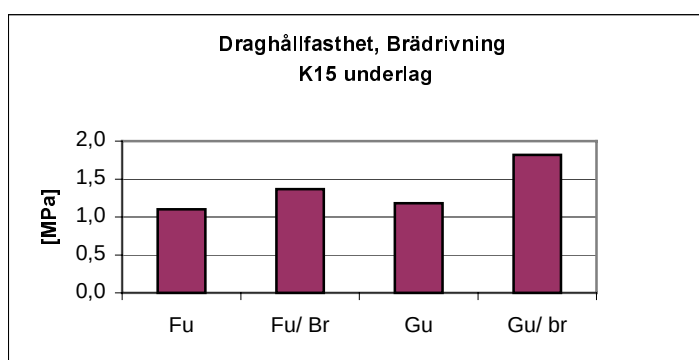
Figur 10 Brottnoder före och efter bevattning vid pågjutning på underlag av god kvalité

Fördelningen av brottnoder vid provdragning av borrhärdar från underlaget med grov ytstruktur var identisk med fördelning för fin ytstruktur, se figur 10.

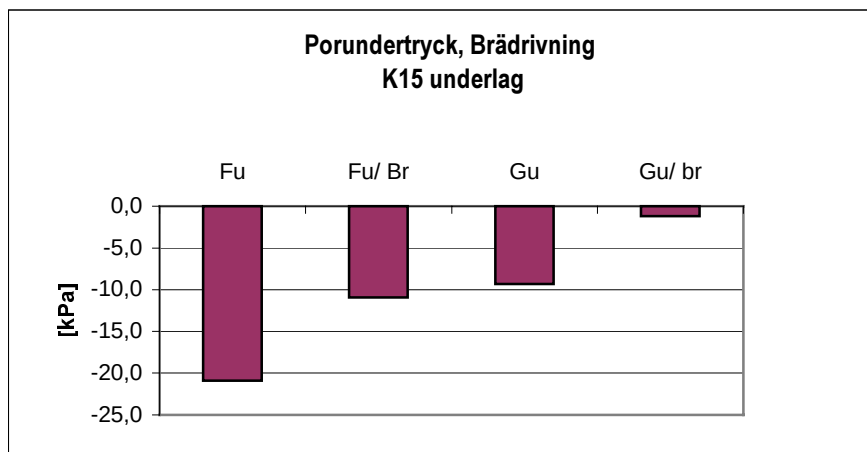
Resultaten vid förvattning på ett underlag av god kvalité påvisar en mer otydlig tendens för vidhäftningshållfasthetens beroende av förvattningen, se bilaga A.

4.2 Brädrivning

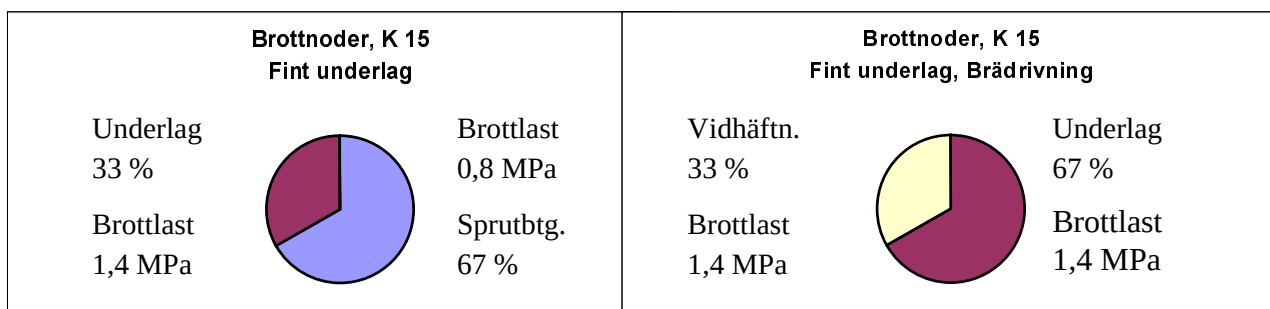
Resultaten från mätningarna på provkropparna som efterbehandlades med brädrivning ger ingen klar indikation på hur brädrivningen påverkar den hårdnade vidhäftningshållfastheten. Vid denna typ av undersökningen är provkroppens storlek och påslagets tjocklek av stor betydelse för hur mycket brädrivningen inverkar på vidhäftningshållfastheten.



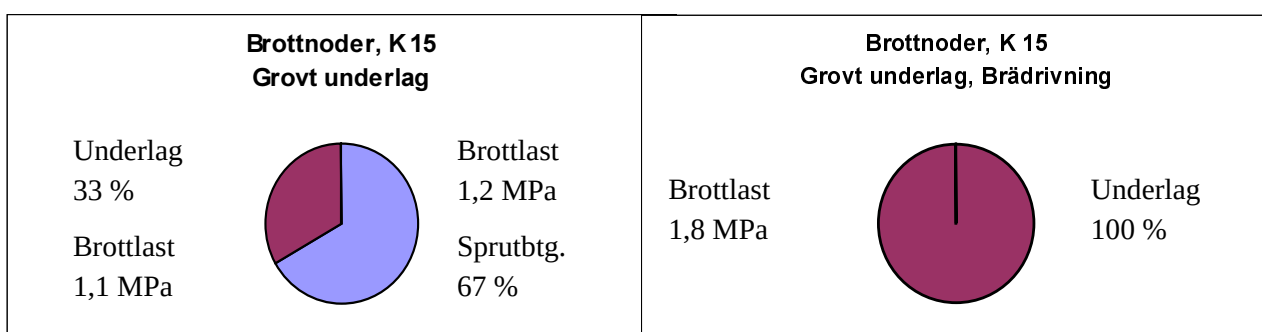
Figur 11 Inverkan på draghållfasthet av brädrivning.



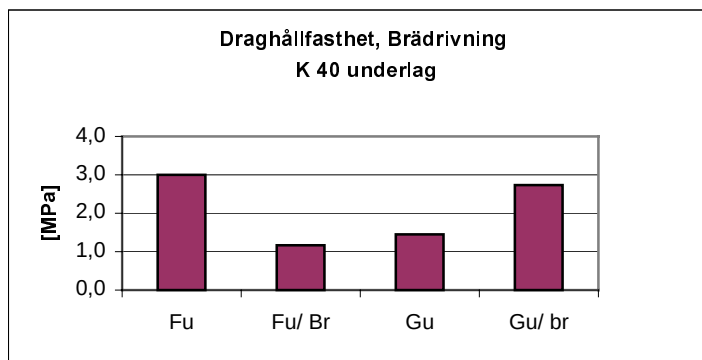
Figur 12 Inverkan på portrycket av brädrivning.



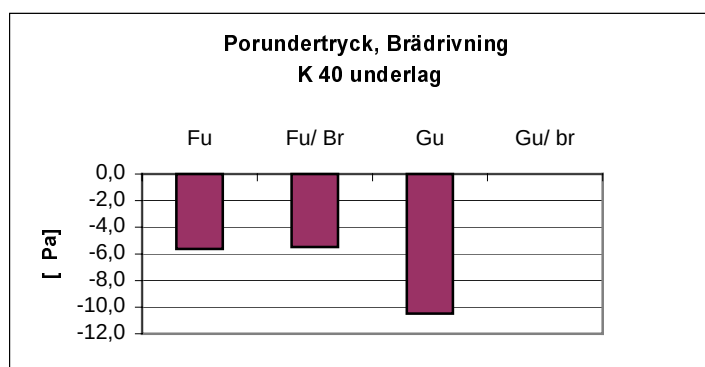
Figur 13 Brottnoder för fint underlag av dålig kvalitet.



Figur 14 Brottnoder för grovt underlag av dålig kvalitet.

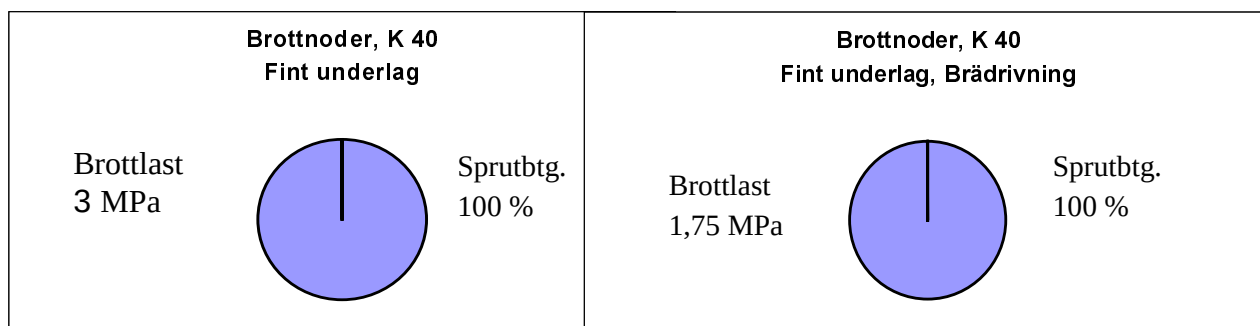


Figur 15 Inverkan på draghållfasthet av brädrivning.

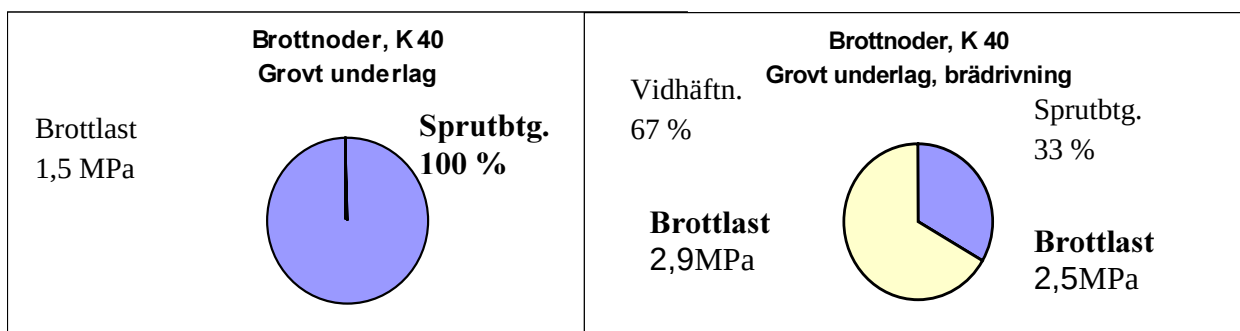


Figur 16 Inverkan på portrycket av brädrivning.

Mätvärdet i figur 16 för provkroppen med grov underlagsyta och brädrivning misslyckades.



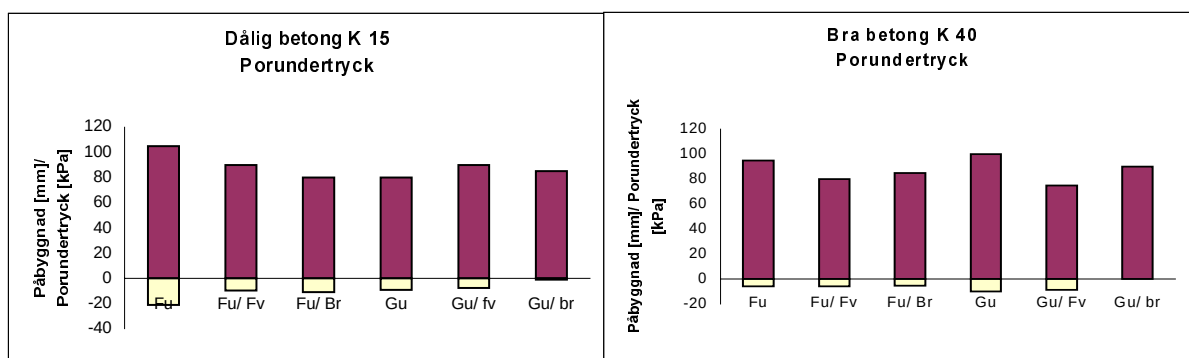
Figur 17 Brottnoder för fint underlag av bra kvalitet.



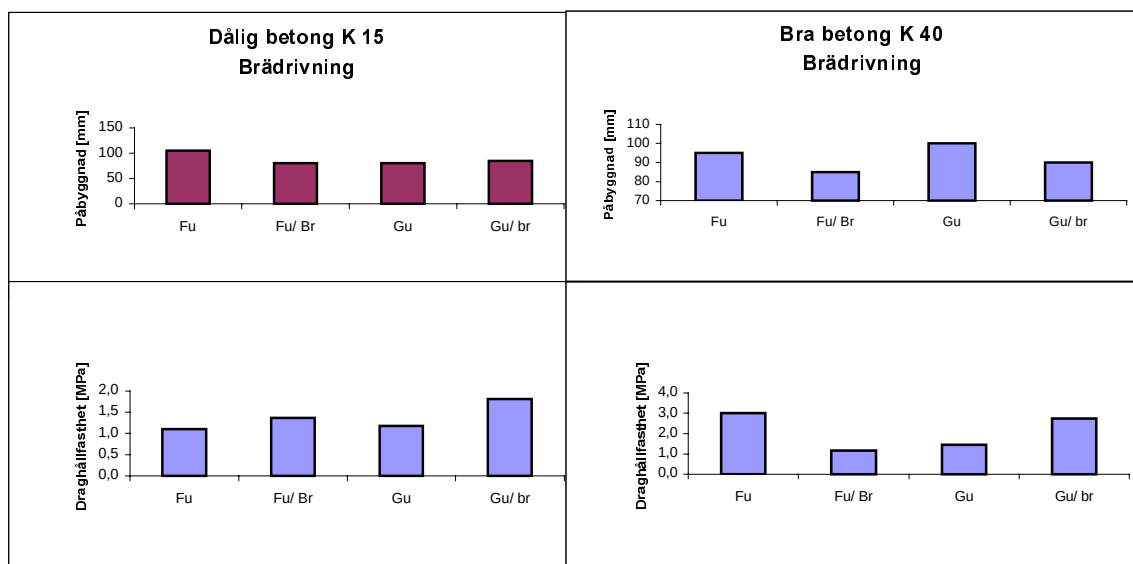
Figur 18 Brottnoder för grovt underlag av bra kvalitet.

4.3 Påslagstjocklek

Inget närmare samband mellan påslagstjocklek och porundertryck har identifierats i undersökningen, se figur 19 och 20.



Figur 19. Samband mellan påbyggnadstjocklek och porundertryck.



Figur 20 Samband mellan brädrivning och påbyggnadstjocklek.

5 Diskussion och slutsatser

Resultatet av undersökningen belyser att underlagets beskaffenhet och använda behandlingsmetoder före och efter pågjutning inverkar på pågjutningens kvalitet. Olika typer av kvaliteter och förutsättningar för använd sprutbetong har betydelse för slutresultatet. Det kan således sägas att varje pågjutning med sprutbetong ställer olika krav på utförande av arbetet.

Hur exakt vidhäftningshållfastheten påverkas av förvattning och brädrivning kan av provresultaten ej fastställas, då endast ett fåtal brottnoder inträffade i vidhäftningszonen. Resultaten kan dock ge indikationer på hur förvattning och brädrivning inverkar på vidhäftningshållfastheten. När de kärnborrade provkropparna dragbelastas kommer provkroppen att först gå till brott vid det tvärsnitt som har den lägsta draghållfastheten, d.v.s. ett tvärsnitt i underlaget, vidhäftningszonen eller i sprutbetongen. Om brottet under dragbelastning ej sker i vidhäftningszonen, medför detta att vidhäftningshållfastheten är större än i det tvärsnitt varvid brottet inträffade. Nedanstående tabeller ger en indikation på hur vidhäftningshållfastheten påverkas vid förvattning och brädrivning.

5.1 Förvattning

Tabell 4 Uppskattning av vidhäftningshållfasthet.

Provkropp	Vidhäftn. [MPa].	Hållf	Provkropp	Vidhäftn. [MPa].	Hållf
K 15, fu	> 1,1		K 40, fu	> 3	
K 15, fu/ fv	> 1,9		K40, fu/ fv	> 1,1	
K 15, gu	> 1,2		K 40, gu	> 1,5	
K 15, gu/ fv	> 1,7		K 40, gu/ fv	> 1,4	

Slutsatsen som kan dras ur tabell 4 är att resultaten pekar på att en bättre vidhäftningshållfasthet kan erhållas om ett underlag av låg kvalitet (låg tryckhållfasthet och hög permeabilitet) förvattnas innan pågjutning.

Ur figur 5 och 6 kan man se att betongen av låg kvalitet (K 15) uppvisar ett visst samband mellan erhållen draghållfasthet och uppmätt porundertryck i kontaktzonen mellan pågjutning och underlag. En betong av låg tryckhållfasthet uppvisar även en hög permeabilitet mot vatten, d.v.s. att betongen lätt kan absorbera fritt vatten.

Den absorberande effekten beror på att en betong med hög permeabilitet har en öppen porstruktur som medför att vatten lätt kan ta sig in i porstrukturen under inverkan av kapillärsugning. Hydratisering av underlagsbetongen medför att det förbrukas vatten i betongen, varvid vattnet ersätts med luftporer. Vid sprutningstillfället var underlagsbetongen ca 30 dygn gammal, vilket medför att dess porstruktur torde vara fullt utbildad.

Ur figur 5 och 6 kan man se att efter provkroppen förvattnats sjunker porundertrycket, d.v.s. porerna i provkroppen fylls med vatten och därför minskar drivkraften för att vatten kapillärt skall sugas in i underlaget. Om provkroppen ej förvattnas kommer det permeabla underlaget att suga (stjäla) vatten från den fuktigare pågjutningen, varvid betongen i pågjutningen kommer att hydratiseras ofullständigare. En ofullständigare hydratisering medför att vidhäftningshållfastheten mellan pågjutning och underlag kommer att försämrast. Effekten av att betongen hydratiseras bättre vid förvattning kan ses i figur 7. I figur 7 kan ses att före förvattning sker dragbrottet i sprutbetongen och vid förvattning sker samtliga tre dragbrott i underlaget, vilket i detta fall blev det svagaste tvärsnittet.

Fritt vatten på pågjutningsytan medför att vidhäftningshållfastheten helt kan ödeläggas. De pågjutningar som utförts på underlag av bra betong (K 40), d.v.s. hög tryckhållfasthet och låg permeabilitet ger indikationer på att förvattning medför en ökad risk för försämrade vidhäftningshållfasthet. Underlaget har en mer sluten porstruktur vilket medför att fritt vatten svårare kan tas upp i underlagsbetongen. Den slutna porstrukturen medför således att risken för att förvattningen kvarlämnar fritt vatten på pågjutningsytan ökar. Behovet av att förvattna en bra underlagsbetong är därför troligen avsevärt mindre än att förvattna en underlagsbetong av lägre kvalitet.

5.2 Brädrivning

Tabell 5 Uppskattning av vidhäftningshållfasthet.

Provkropp	Vidhäftn. [MPa].	Hållf	Provkropp	Vidhäftn. [MPa].	Hållf
K 15, fu	> 1,1		K 40, fu	> 3	
K 15, fu/ br	> 1,4		K40, fu/ br	> 1,2	
K 15, gu	> 1,2		K 40, gu	> 1,5	
K 15, gu/ br	> 1,8		K 40, gu/ br	> 2,7	

Inverkan av brädrivning av pågjutningsytan efter sprutning har i dessa försök inte entydigt givit någon indikation på hur behandlingen påverkar vidhäftningshållfastheten. Brädrivningen kan teoretiskt både inverka positivt och negativt på vidhäftningshållfastheten. Den positiva inverkan består i att pågjutningen kan komprimeras under behandlingen, komprimeringsgraden beror dock i hög grad på ursprunglig komprimering under gjutning samt den påslagstjocklek som applicerats. Komprimeringen kan medföra att pågjutningen får en tätare porstruktur, då luft i pågjutningen pressas ut vid bearbetningen. Negativt för vidhäftningshållfastheten är dock om man genom brädrivningen orsakar skjuvning av den färska betongen i kontaktzonen mellan pågjutning och underlag. Skjuvning av den färska betongen kan störa utbildandet av tidiga cementreaktioner, vilket t.ex. kan orsaka en minskning av vidhäftningsytan mellan pågjutning och underlag och dessutom en försämring av maximal möjlig påslagstjocklek av den färska sprutbetongen. Underlagets råhet spelar en viktig roll för att förhindra att en skjuvzon bildas mellan pågjutning och underlag vid brädrivning.

Provkroppens relativt begränsade utbredningsyta (liten pågjutningsyta) och vissa olikheter i påslagets tjocklek mellan olika provkroppar, medför en osäkerhetsfaktor i utvärderingen av brädrivningens inverkan. Den begränsade pågjutningsytan jämfört med en större pågjutningsyta, medför att bearbetningen med brädrivning riskerar att inverka mer negativt på den mindre ytan än på en yta med större utbredning. De skjuvkrafter som uppstår i kontaktzonen mellan pågjutning och underlag vid brädrivningen orsakar större skjuvspänningar i en mindre kontaktyta jämfört med en större kontaktyta. Påslagstjockleken medför att påkänningen i kontaktzonen mellan pågjutning och underlag blir olika efter avslutad sprutning.

Draghållfasthetsprovet indikerar att brädrivning av pågjutningarna på underlag av grov ytstruktur och betong av sämre kvalitet, erhöll en högre draghållfasthet jämfört med underlag av slätare ytstruktur och högre betongkvalité. Orsaken till den förhöjda draghållfastheten kan bero på en förbättrad komprimering av pågjutningen samt att vidhäftningshållfastheten vid en yta med grövre struktur inte lika lätt påverkas negativt av brädrivning.

Den färskas vidhäftningen och därmed även den hårdnade vidhäftningens storlek torde i hög grad bero på underlagets ytstruktur och betongkvalité. Vidhäftningshållfastheten mot en yta med slät ytstruktur och en underlagsbetong med öppen porstruktur (dålig kvalitet) beror troligen till stor del av det porundertryck (sugkraft) som bildas vid betongens applicering mot underlaget. Vid pågjutning på en yta med grövre ytstruktur blir den mekaniska förankringen mellan pågjutning och underlag den alltmest dominerande vidhäftningsmekanismen.

5.3 Framtida forskningsbehov

Behovet av att ytterligare studera sprutbetongens vidhäftningshållfasthet mot ett underlag av betong, torde vara viktigt för att i framtiden kunna utföra förstärkningar och reparationer med sprutbetong på ett tekniskt/ ekonomiskt optimalt sätt.

För att kunna säkerställa allmängiltigheten i mätresultaten och slutsatserna från denna studie, bör ett större antal upprepade försök genomföras för att statistiskt kunna säkerställa mätosäkerheter och eliminera ofrivilliga variationer i utförandet av provningarna. Studier av den använda färskas betongen skulle vara av intresse att undersöka med reologiska mätmetoder för att kunna koppla samman receptet på använd sprutbetong till sprutresultat som t.ex. vidhäftningshållfasthet och påbyggnadstjocklek. Nya typer av reologiska mätsystem gör det möjligt att karaktärisera den färskas betongens reologi. Undersökning av olika sprutbetongblandningars reologi kan t.ex. studeras genom att variera vct, dosering flytmedel, ingående ballasts siktcurva.

Utrustningens inverkan på sprutresultatet som t.ex. tillsättning av vatten i sprutmunstycke, spruttryck, matning av material i slang och spruta, är troligen faktorer som är av stor betydelse för att erhålla en god vidhäftningshållfasthet. Variationer i utförandet av sprutningarna borde därför vara av intresse att genomföra.

Studier av hur kontaktytan mellan pågjutning och underlag ser ut i hårdnat tillstånd, är något som vidare bör studeras för att utröna om det finns synbara (i mikroskop) egenskaper (mikrosprickor, skiktningar m.m.) som påverkar vidhäftningshållfastheten. Undersökning av fogen mellan pågjutning och underlag kan exempelvis utföras m.h.a studier av tunnslip från området runt fogen.

Karaktärisering av underlagsytan och kopplingen mellan underlagets ytstyrka, ytjämnhet och vidhäftningshållfasthet är ett intressant område som borde undersökas. Arbete krävs för att utveckla ett relevant system för att karaktärisera olika typer av underlagsytor (fina, grova, glatta mm.) på ett enhetligt och jämförbart sätt.

Fortsatta undersökningar krävs för att klarlägga betydelsen av att förbehandla underlagsytan med olika typer av vidhäftningshjälpmedel (epoxi, cementslurry mm.) för att öka vidhäftningshållfastheten. Vid vissa typer av reparationer med sprutbetong kan det finnas behov av att förstärka ytskiktet för att kunna erhålla en fullgod vidhäftningshållfasthet. Förbehandling av underlagsytan med vidhäftningsmedel kan i dessa fall hjälpa till att förstärka pågjutningsytan före sprutning. Exempel på sådana typer av reparationer är t.ex. förstärkning av äldre dammkonstruktioner där betongen i dammen är av så låg kvalitet att förbehandling av pågjutningsytan för att förbättra vidhäftningshållfastheten med t.ex. vattenbilning ej är möjlig.

6 Referenser

- [1] Anders Andalen, *Förbehandlings inverkan på sprutbetongens vidhäftning*, Statens Provningsanstalt, Borås, 1988.
- [2] Torbjörn Hahn, *Sprutbetongs vidhäftning mot olika bergtyper*, BeFo, Stockholm, 1983.
- [3] Björn Hellström, *Samverkan mellan ytbetong och betongelement, Inverkan av ytbeskaffenhet och pågjutningsarbetets utförande*, Cement- och Betonginstitutet, Stockholm, 1976.
- [4] Simon Austin and Peter Robins, *Properties, design and application*, Loughborough, UK, 1995.
- [5] Caroline Talbot, Michel Pigeon, Denis Beaupré, D.R. Morgan, *Influence of long-term bonding of shotcrete*, ACI Materials Journal, Detroit, USA, 1994.
- [6] Jonas Holmgren, *Bergförstärkning med sprutbetong*, Vattenfall, Vällingby, 1992.
- [7] John A. Wells, Robert D. Stark, Dimos Polyzois, *Getting better bond in concrete overlays*, Concrete International, USA, mars 1999.
- [8] Reza Habari, Anders Hagberg, *Sprutbetong- betydelse av olika förbehandlingsar*, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 1997.

Bilagor

A Resultat vid vidhäftningsprovning

	Provkärna nr.				Brottnod			Summa			Hållfasthet [MPa]			Max. portryck	Pågjutnings-tjocklek [mm]
	1	2	3		1	2	3	S	U	Z	Medel	Median	Std. Av.		
K 15															
Fu	0,4	1,4	0,8		S	U	S	2	1	0	1,1			-20,93	105
Fu/ Fv	2	2	1,7		U	U	U	0	3	0	1,9	2,0	0,2	-9,81	90
Fu/ Br	1,4	1,4	1,3		U	Z	U	0	2	1	1,4	1,4	0,1	-10,92	80
Fu/Fv/ Br	0,8	1,5	0,6		U	U	S	1	2	0	1,0	0,8	0,5	-7,31	80
K 15															
Gu	1,3	1,1	1,1		S	U	S	2	1	0	1,2	0,1	1,1	-9,31	80
Gu/ Fv	1,6	1,6	1,9		U	U	U	0	3	0	1,7	0,2	1,6	-7,72	90
Gu/ Br	1,9	1,8	1,75		U	U	U	0	3	0	1,8	0,1	1,8	-1,17	85
Gu/ Fv/ Br	0,7	0,7	1,3		S	S	U	2	1	0	0,9	0,4	0,7	-7,93	85
K 40															
Fu	2,3	0,4	3,7		S	S	S	3	0	0	3,0			-5,62	95
Fu/ Fv	0,25	1,4	0,75		S	S	S	3	0	0	1,1			-6,05	80
Fu/ Br	0,5	2,5	0,5		S	S	S	3	0	0	1,2	1,2	0,5	-5,49	85
Fu/ Fv/ Br	0,99	1,5	3		S	S	U	2	1	0	1,8	1,0	1,5	-4,61	110
K 40															
Gu	0,7	1,2	1,7		S	S	S	3	0	0	1,5			-10,48	100
Gu/ Fv	2,1	0,7	0,3		S	S	S	3	0	0	1,4			-8,67	75
Gu/ Br	3,2	2,5	2,5		Z	S	Z	1	0	2	2,7	0,4	2,5	0,00	90
Gu/ Fv/ br	2	1,6	1,4		Z	S	S	2	0	1	1,7	0,3	1,6	-5,14	95

Överkryssade mätvärden är ej medtagna i utvärderingarna (mätfel beroende på onormala ojämnheter i sprutbetongkvalitén). S= Brott i sprutbtg. U= Brott i underlag, Z= Brott i vidhäftningszon.

B RECEPT FÖR UNDERLAGSBETONG

K 15, Dålig Betong

vct:	0,8	
Bindemedel- halt:	215	kg/m ³
Densitet ballast:	2,65	ton/m ³
Densitet bindemedel:	3,1	ton/m ³
Satsvolym:	150	liter
Lufthalt:	4	%

	Beståndsdel	kg/m ³	kg/sats			Red. kg/sats
	Cement	215	32,250			32,250
	Vatten	172	25,800			19,774
%	Ballastfrakt.	kg/m ³	kg/sats	Fukthalt	Fuktmängd	
	16-32					
29,87	8-16	568,85	85,327			85,327
56,89	0-8	1083,42	162,513	3	4,875	167,388
	4-8					
	2-5					
	0.25-0.5					
	0.125-0.25					
	0-0.125					
13,23	0-1	251,95	37,793	3	1,134	38,927
Summa:	99,99	1904,22	285,633		6,009	291,642
%B	Tillsatsmedel:	kg/m ³	kg/sats	Torrhalt	Vatt.mängd	
	Vattenred.					
0,06	Luftporbildare	0,129	0,019	11	0,017	0,019
	Retarder					
Summa:		0,129	0,019		0,017	0,019
%B	Tillsatsmtrl:	kg/m ³	kg/sats			
	Silica					
	Syrgashyvel					
Summa:						
Totalsumma:		2291,35	343,702		6,026	343,702

K 40, Bra Betong

vct:	0,54	
Bindemedel	363	kg/m ³
halt:		
Densitet	2,65	ton/m ³
ballast:		
Densitet	3,1	ton/m ³
bindemedel		
:		
Satsvolym:	150	liter
Lufthalt:	2,5	%

	Beståndsdel	kg/m ³	kg/sats			Red. kg/sats
	Cement	363	54,450			54,450
	Vatten	196,02	29,403			25,549
%	Ballastfrakt.	kg/m ³	kg/sats	Fukthal t	Fuktmängd	
	16-32					
29,42	8-16	516,02	77,404			77,404
42,93	0-8	752,99	112,948	3	3,388	116,337
11,55	4-8	202,59	30,388			30,388
10,57	2-5	185,40	27,810			27,810
	0.25-0.5					
	0.125-0.25					
	0-0.125					
5,53	0-1	97,00	14,549	3	0,436	14,986
Summa:	100	1753,99	263,099		3,825	266,924
%B	Tillsatsmedel :	kg/m ³	kg/sats	Torrhalt	Vatt.mängd	
	Vattenred.					
0,06	Luftporbildar e	0,218	0,033	11	0,029	0,033
	Retarder					
Summa:		0,218	0,033		0,029	0,033
%B	Tillsatsmtrl:	kg/m ³	kg/sats			
	Silica					
	Syrgashyvel					
Summa:						
Totalsumma:		2313,23	346,984		3,854	346,984

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 2530. Telefax 08-677 2535
www.elforsk.se