

# INJEKTERINGSBETONG

*Mekaniska och beständighets egenskaper*

Anders Lindvall

Oktober 2012

**SBUF stödjer**  
forskning & utveckling

**som leder till**  
praktisk handling

# FÖRORD

I detta projekt har en litteraturstudie rörande egenskaperna hos injekteringsbetong genomförts. En injekteringsbetong (eller ”preplaced aggregate concrete” på engelska) är i princip en vanlig betong men där den grövre ballasten placeras och kompakteras i formen, varvid ett stenskelett skapas där ballastkornen är direkt kontakt med varandra, och därefter introduceras ett cementbruk i de hålrum som finns i stenskelettet. De huvudsakliga syftena med att använda en injekteringsbetong är att minska tvångskrafter som kan uppstå i betongen, genom att minska dess krympning samt begränsa temperaturutvecklingen vid gjutning. Traditionellt har injekteringsbetong använts i konstruktioner exponerade i miljöer som inte är så aggressiva, där det inte funnits några direkt krav på beständighet hos betongen. Injekteringsbetong är en teknik som har potential även i konstruktioner som finns i tuffa miljöer, t.ex. längs tösaltade vägar eller marina miljöer, där det finns krav på bärförmåga samt god beständighet hos betongen. För att kunna utnyttja injekteringsbetongen i dessa miljöer krävs dock att egenskaperna med avseende på bärförmåga och beständighet, huvudsakligen rörande frost och kloridinträngning, undersöks ytterligare.

Den genomförda litteraturstudien visar att det finns en del information om injekteringsbetong, Huvuddelen informationen berör riktlinjer hur konstruktioner med injekteringsbetong skall utföras. Dock är uppgifter om egenskaper hos injekteringsbetong exponerad i tuffa miljöer knapphändiga. Sålides finns det ett behov av att undersöka egenskaperna hos injekteringsbetong rörande bärförmåga och beständighet genom laboratoriestudier, för att kunna utöka dess användningsområde.

Arbetet har utförts av Anders Lindvall, Thomas Concrete Group Centrala laboratorium i Göteborg.

Projektets referensgrupp har varit sammansatt av:

- Tommy Ellison, BESAB.
- Jonas Magnusson, NCC Teknik.
- Ingemar Löfgren, Thomas Concrete Group.
- Mats Karlsson, AB Färdig Betong.
- Tang Luping, Chalmers tekniska högskola.
- Karin Lundgren, Chalmers tekniska högskola.
- Hans Hedlund, Skanska.
- Roy Björkman, Trafikverket.
- Ledamöter i FoU Väst.

Projektet har finansierats av SBUF, BESAB, Färdig Betong samt NCC. Ett tack framför till projektets finansiärer samt referensgruppens medlemmar.

Göteborg, Oktober 2012

Anders Lindvall, projektledare, Thomas Concrete Group C.lab.

# INNEHÅLL

<b>INLEDNING</b> .....	<b>1</b>
BAKGRUND .....	1
SYFTE OCH AVGRÄNSNINGAR .....	2
METOD .....	2
<b>INJEKTERINGSBETONG – ALLMÄNT</b> .....	<b>3</b>
ANVÄNDNING AV INJEKTERINGSBETONG .....	3
UTFÖRANDE AV KONSTRUKTIONER MED INJEKTERINGSBETONG .....	5
<i>Materialsammansättning</i> .....	5
<i>Arbetsutförande</i> .....	6
<i>Kontroll</i> .....	8
<b>EGENSKAPER HOS INJEKTERINGSBETONG</b> .....	<b>9</b>
EGENSKAPER I FÄRSKT TILLSTÅND .....	9
MEKANISKA EGENSKAPER .....	9
BESTÄNDIGHETSEGENSKAPER .....	12
<i>Frostbeständighet</i> .....	13
<i>Armeringskorrosion</i> .....	14
SAMMANFATTNING – EGENSKAPER HOS INJEKTERINGSBETONG .....	14
<b>AVSLUTANDE KOMMENTARER</b> .....	<b>16</b>
<b>BEHOV AV FORTSATTAS STUDIER</b> .....	<b>18</b>
<b>REFERENSER</b> .....	<b>20</b>

# INLEDNING

## Bakgrund

En intressant teknik för betonggjutning är s.k. injekteringsbetong ("preplaced aggregate concrete" på engelska). Ibland förekommer också beteckningarna Prepak eller Colcrete, som båda är varumärken för olika metoder för att framställa injekteringsbetong. En injekteringsbetong är i princip en vanlig betong med den skillnad att den grövre ballasten placeras och kompakteras i formen, varvid ett stenskelett skapas där ballastkornen är i direkt kontakt med varandra. Därefter introduceras ett cementbruk i de hålrum som finns i stenskelettet, och traditionellt har bruket injekterats. Under senare år har det skett en utveckling av bruket så att detta även går att "hälla" över den grova ballasten och låta det fylla formen genom gravitationskrafter.

De huvudsakliga syftena med att använda en injekteringsbetong är att minska tvångskrafter som kan uppstå i betongen (speciellt vid pågjutningar), genom att minska dess krympning, begränsa temperaturutvecklingen i samband med gjutning samt erhålla en god vidhäftning mot bakomliggande konstruktion. Krympningen blir mindre eftersom ett inre mothåll skapas i betongen av det skelett med grövre ballastkornen som är i kontakt med varandra och temperaturutvecklingen kan begränsas om delar av cementet ersätts med t.ex. flygaska eller slagg och på så sätt minska cementhalten. Normalt fås också en god vidhäftning vid pågjutningar mellan injekteringsbetong och befintlig konstruktion. Tekniken med injekteringsbetong är också relativt tyst vilket innebär att den kan användas på arbetsplatser där det finns krav på liten påverkan på omgivningen, t.ex. ljud eller vibrationer.

Exempel på traditionella användningsområden för injekteringsbetong är, Linderson (1992) och ACI (1997a): (i) reparationer, (ii) undervattengjutningar, (iii) konstruktioner med speciella krav på begränsning av krympning, krypning, värmeutveckling och sprickbildning samt (iv) fyllnadsgjutningar. I dessa användningsområden finns det normalt inga högre krav på bärförmåga hos konstruktionen. Exponeringsmiljöerna är inte heller speciellt tuffa, vilket innebär att det normalt inte finns några speciella krav på betongens beständighet. Andra exempel där injekteringsbetong är intressant att använda är i konstruktioner med tät armering eller där det ställs höga krav på att ballasten placeras rätt och där det finns risk för separation, t.ex. om tung ballast används, ACI (1997a) samt Neville & Brooks (1987). En annan möjlighet med injekteringsbetong är att skapa betongytor med speciella mönster genom att placera den grova ballasten på ett speciellt sätt och därefter slipa ytan.

Tekniken bakom injekteringsbetong finns beskriven i ett flertal publikationer, t.ex. Alberts (1980), Linderson (1992), U.S. Army Corps of Engineers (1994), ACI (2000), Cullum (2003), Warner (2005) samt Sandström (1997). Under senare år har tekniken med injekteringsbetong vidareutvecklats där bland annat cementhalten har sänkts med bibehållen hållfasthet samt att "injekteringsbruket" hälls på den grova ballasten istället för att injekteras, se t.ex. Paulsson-Tralla & Ekman (2008) eller Paulsson-Tralla (2010). På detta sätt fås en betong med lägre temperaturutveckling och minskad miljöpåverkan jämfört med en konventionell betong (som ett resultat av lägre cementhalt). Dessutom undviks momentet med injektering, vilket innebär ett mindre behov av speciell utrustning.

En vanlig användning av injekteringsbetong är i konstruktioner där det finns krav på liten krympning och sprickrisk. Det finns flera orsaker till att sprickor uppkommer, t.ex. belastning, rörelser av olika slag, temperaturvariationer, krympning (orsakad av uttorkning och cementets

kemiska reaktioner), nedbrytning av betongen (frostsprängning, armeringskorrosion etc.) eller brand. Sprickbildning i betongkonstruktioner kan påverka konstruktions funktion och utseende. Omfattande sprickbildning i en betongkonstruktion kan också medföra problem med beständigheten eftersom sprickor underlättar för skadliga ämnen att tränga in i betongen. Exempel på konstruktioner där problem med denna typ av sprickor kan förekomma är broar (kantbalkar), plattor eller vid pågjutningar på befintliga konstruktioner. Konventionella metoder för att minska risken för denna typ av sprickor är att använda lämpliga betongsammansättningar, t.ex. att minska cementpastahalten och/eller krympningsreducerande tillsatsmedel, och/eller konstruktiva utformningar (exempelvis genom lämplig armering) samt lämpligt utförande, se t.ex. Betonghandboken – Material (1994) och ACI (2000).

Det finns en utvecklingspotential hos tekniken med injekteringsbetong, inte minst för användning i tuffa miljöer, t.ex. i marin miljö eller längs tösaltade vägar. I sådana miljöer ställs det krav på både god bärförmåga och beständighet hos betongen. Kravet på god bärförmåga innefattar bland annat att betongens hållfasthet och vidhäftning mellan armering och betong är god. Vid pågjutningar erfordras också att vidhäftningen mot underlaget är god. Undersökningar i litteraturen visar att injekteringsbetong normalt får god hållfasthet och att vidhäftningen mot bakomliggande konstruktion pågjutningar blir också god. Vidhäftning mellan armering och injekteringsbetong har inte undersökts i någon större utsträckning och är därför en osäkerhet. God beständighet innebär att betongen (och armeringen) skall kunna motstå angrepp från skadliga ämnen (t.ex. karbonatisering eller kloridinträngning) samt frost, utan att betongens bärförmåga påverkas allt för mycket. Traditionellt har injekteringsbetong använts i konstruktioner exponerade i miljöer som inte är så aggressiva där beständigheten normalt inte har inneburit något problem. Därför har det heller inte funnits något behov av att undersöka beständigheten hos injekteringsbetong i någon större omfattning.

I följande kapitel görs en genomgång av information som finns tillgänglig i litteraturen rörande egenskaper hos injekteringsbetong.

## Syfte och avgränsningar

Syftet med SBUF-projekt 12550 ”Mekaniska och beständighets egenskaper hos injekteringsbetong” är att undersöka och dokumentera egenskaperna hos injekteringsbetong. Projektet är speciellt inriktat på injekteringsbetong avsedd för användning i konstruktioner i tuffa miljöer där det finns krav på god bärförmåga samt beständighet hos betongen.

SBUF har i ett första skede beviljat ekonomiska medel till en litteraturstudie och i denna rapport presenteras resultaten från denna litteraturstudie.

## Metod

Projektet har genomförts som en litteraturstudie där tillgänglig information om injekteringsbetong och dess egenskaper har ställts samman. Resultaten från litteraturstudien har använts för att identifiera eventuella kunskapsbrister och baserat på detta ge förslag på områden där det finns behov av fortsatta studier.

## INJEKTERINGSBETONG – ALLMÄNT

I detta kapitel görs en genomgång av vilka erfarenheter som finns rapporterade i litteraturen rörande användning av injekteringsbetong. Det görs också genomgång av hur konstruktioner av injekteringsbetong kan utföras och vilken information som finns i tillgängliga riktlinjer.

### Användning av injekteringsbetong

Injekteringsbetong är ingen ny teknik utan den finns beskriven i litteraturen redan 1937, då tekniken användes vid renoveringen av en järnvägstunnel i Santa Fe i Kalifornien. Vid denna renovering gjordes omfattande injekteringsarbeten och för att minska på förbrukningen av injekteringsbruk fylldes större håligheter med grov ballast före injektering. Därefter vidareutvecklades tekniken genom att bygga formar runt de områden som skulle gjutas, och formarna fylldes med ballast av lämplig gradering som slutligen injekteras med cementbruk. 1940 blev tekniken mer allmänt spridd, då ett antal patent för produktionsmetoden och tillsatsmedel (främst ”grout fluidifier”, som medför att injekteringsbruket blir lättflytande och något expanderande) presenterades i USA. Den utvecklade tekniken, med att först placera grov ballast som kompakteras och därefter injektera med ett cementbruk, marknadsfördes under namnet ”Prepakt”.

Gjutning av injekteringsbetong görs i två steg där formen först fylls med den grövre ballasten, som kompakteras, och därefter fylls de hålrum som skapas med ett cementbaserat injekteringsbruk. Den grövre ballasten kan bestå av singel eller makadam, som är tvättad och rensiktad för att få bort de mindre fraktionerna, kornstorleken på den grova ballasten bör vara minst 8-10 gånger större än den största kornstorleken i injekteringsbruket. När tekniken med injekteringsbetong introducerades under 1940-talet användes grov ballast med maximal kornstorlek på 100-200 mm, medan den grova ballasten i en modern injekteringsbetong, t.ex. den som har använts vid reparationen av gamla Årstabron, se Paulsson-Tralla & Ekman (2008), har en maximal kornstorlek på 16-20 mm. En förklaring till att så grov ballast användes i äldre injekteringsbetong var att dåtidens injekteringsbruk inte hade sådana egenskaper att grov ballast med mindre maximal kornstorlek gick att injektera, Paulsson-Tralla (2010). När den grövre ballasten är på plats och kompakterad fylls hålrummen mellan ballastkornen med ett cementbaserat injekteringsbruk som pumpas in i formen, dvs. injekteringsbruket tillförs stenskelettet under yttre tryck. Metoden för att tillföra ”injekteringsbruket” till den grova ballasten har också förändrats. I en modern injekteringsbetong kan ”injekteringsbruket” tillföras genom att hålla bruket på den grova ballasten, där bruket sedan får rinna ned i den grova ballasten genom gravitation.

Traditionellt är injekteringsbruket sammansatt av cement, tillsatsmaterial, sand, tillsatsmedel och vatten. För att få en god omslutning av den grövre ballasten måste injekteringsbruket ha en viss sammansättning, där speciellt förhållandet mellan cement och sand ( $c/s$ ) är väsentligt samt användning av speciella tillsatsmedel som ger bruket lämpliga flytegenskaper och en viss expansion (så kallad ”grout fluidifier”). Även andra tillsatsmedel kan tillsättas injekteringsbruket, t.ex. luftporbildande tillsatsmedel om det finns krav på luftinblandning. De faktorer som har störst inverkan på den färdiga betongens egenskaper är vattencementtalet ( $vct$ ) och maximal stenstorlek i den grövre ballasten, Abdelgader (1999).

Ursprungligen användes injekteringsbetongen främst till mindre reparationsjobb men efter omfattande laboratorieundersökningar började tekniken också användas för större och mer komplicerade jobb under 1950-talet och framåt. Bland annat har injekteringsbetong använts vid

uppförandet av flera stora vattenkraftverk i Australien och USA. Ett annat användningsområde för injekteringsbetong är vid uppförande av skyddsväggar runt strålningskällor, t.ex. kärnreaktorer eller röntgenutrustning. I sådana väggar används betong med tung ballast som är mer känslig för separation än konventionell betong om gjutningen görs på traditionellt vis. Om den tunga ballasten däremot först placeras i formen och hålrummen mellan ballastkornen fylls med injekteringsbruk finns det ingen risk för separation. ACI (1997a)

Det har skett en utveckling av injekteringsbetongen sedan den introducerades under 1940-talet, som har gjort tekniken mer användningsbar. Det som främst har utvecklats är att maximal kornstorlek på den grova ballasten har blivit mindre samt att sammansättningen på injekteringsbruket har förändrats. Dessa förändringar har också medfört att produktionstekniken har kunnat förändras, t.ex. att injekteringsbruket kan hällas på den grova ballasten istället för att injekteras.

Användningen i Sverige har varit relativt begränsad och injekteringsbetong har främst använts vid gjutning av fundament och tunnlar. Det finns även exempel på användning vid gjutningar under vatten, eller vid konstruktioner med komplicerade geometrier och tät armering, se t.ex. Sandström (2009), Bygginnovationen (2010) samt Paulsson-Tralla & Ekman (2008). Aktuella exempel på när injekteringsbetong har använts är vid renoveringen av Gamla Årstabron 2005 och en tunnelbanebro i Enskede 2009-2010, se Paulsson-Tralla & Ekman (2008) samt Petersén (2010). Bakgrunden till att just injekteringsbetongen valdes som en lämplig teknik för dessa entreprenader var att det fanns krav på låg krympning och god vidhäftning mellan pågjutningar och underliggande betong samt begränsad värmeutveckling. Det injekteringsbruk som användes vid renoveringen av Årstabron var sammansatt av Portlandcement, slag och sand samt tillsatsmedel medan vid renoveringen av tunnelbanebron i Enskede användes ett kommersiellt injekteringsbruk (Cemfix 565). I samband med dessa reparationer gjordes också en del undersökningar av egenskaperna hos den färdiga injekteringsbetongen. Resultaten visar att den använda injekteringsbetongen fick önskade egenskaper med låg krympning (som uppfyllde beställarens krav), god vidhäftning mot underliggande betong samt begränsad värmeutveckling. Det fanns inga direkta krav på beständighet och därför har detta heller inte provats.

I framtiden finns det ett flertal potentiella användningsområden där injekteringsbetong erbjuder ett intressant alternativ till konventionell betong. I Paulsson-Tralla (2010) redovisas följande områden där injekteringsbetong kan vara ett intressant alternativ till konventionell betong:

- Pågjutningar på befintliga konstruktioner, där injekteringsbetong ger en betong med låg eller ingen krympning.
- Byte av kantbalkar på broar, där injekteringsbetong ger möjligheter att skapa en betong med låg krympning, som normalt eftersträvas i den nya kantbalken.
- Slipade ytor, där injekteringsbetong erbjuder en möjlighet att skapa mönster genom att placera den grova ballasten på ett lämpligt sätt och sedan slipa betongytan.
- Industrigolv, där låg krympning och värmeutveckling bidrar till att antalet fogar kan reduceras. Dessutom finns det en möjlighet att optimera ballastsammansättningen, där ballast med hög kvalitet kan användas i de områden där det finns krav på slitstyrka etc., medan ballast med lägre kvalitet kan användas i övriga delar av konstruktionen.
- Undergjutningar, där injekteringsbetong erbjuder en möjlighet att gjuta stora volymer på kort tid.
- Undervattensgjutningar, där injekteringsbetong har visat sig fungera bra.
- Grova konstruktioner generellt, där användning av injekteringsbetong innebär att problem med krympning och temperaturutveckling minskar. Dessutom fås en mindre

miljöpåverkan (eftersom cementhalterna är lägre i injekteringsbetong än i konventionell betong).

- Konstruktioner med tung betong, där användning av injekteringsbetong underlättar gjutning av betong med tung ballast. Vid användning av konventionell teknik finns det risk för stenseparation om tung ballast används, men denna risk elimineras om injekteringsbetong används. Detta eftersom de grova ballastpartiklarna placeras i kontakt med varandra och på detta sätt förhindras separation. Vidare kan mängden cement minskas och, om konstruktionen ska en viss massa, även volymen betong.

Således finns det många olika typer av konstruktioner där injekteringsbetong kan vara intressant att använda. Dock krävs det ytterligare undersökningar av egenskaperna hos injekteringsbetong för vissa av dessa användningsområden. I Paulsson-Tralla (2010) påpekas också att det troligen kommer krävas att sammansättningen av injekteringsbruket och/eller den grova ballasten modifieras något för att uppnå önskade egenskaper i injekteringsbetongen.

## Utförande av konstruktioner med injekteringsbetong

Allmänt gäller att en injekteringsbetong måste uppfylla samma krav som en konstruktion utförd med konventionell betong. Detta innebär att betongen måste uppfylla grundläggande krav vad gäller bärförmåga och beständighet.

Det finns några riktlinjer för utförande av injekteringsbetong, främst ifrån Nordamerika, t.ex. U.S. Army Corps of Engineers (1984), ACI (1997a), ACI (1997b) samt ACI (2000). Det finns också svenska riktlinjer, se t.ex. Linderson (1992), som huvudsakligen behandlar samma saker som de Nordamerikanska riktlinjerna. I riktlinjerna rekommenderas injekteringsbetong som ett alternativ till konventionell betong i hårt armerade konstruktioner, vid större undergjutningar samt reparationer där pågjutningar på befintlig konstruktion görs och där liten krympning eftersträvas. Injekteringsbetong rekommenderas också som en lämplig metod när betong med tung ballast skall gjutas, ACI (1997b). En ytterligare möjlighet med injekteringsbetong är att skapa dekorativa ytor på platsgjuten betong genom att placera den grova ballasten på ett lämpligt sätt och därefter efterbehandla betongen med t.ex. blästring eller slipning.

I riktlinjerna anges att dimensionering av konstruktioner utförda med injekteringsbetong kan göras på samma sätt som för konstruktioner utförda med konventionell betong. Dock påpekas att extra hänsyn måste tas vid dimensionering av formar, eftersom formtrycken blir högre och det också är större risk för läckage av cementbruk vid användning av injekteringsbetong (se vidare nedan).

I följande kapitel görs en genomgång av hur en konstruktion med injekteringsbetong kan uppföras, rörande materialsammansättning, utförande samt kontroll av den färdiga konstruktionen. Genomgången är främst baserad på den information som finns i U.S. Army Corps of Engineers (1984) samt ACI (1997a).

## Materialsammansättning

Delmaterialen i en injekteringsbetong rekommenderas vara sammansatta enligt följande:

- **Ballast.** Den grova ballasten bör vara sammansatt av väl tvättad och rensiktad singel eller makadam. Minsta kornstorlek i den grova ballasten bör vara minst 8-10 gånger den största kornstorleken i injekteringsbruket, som är ca 2 mm, dvs. minsta kornstorlek bör



vara ca 16-20 mm, Alberts (1966). Det sägs också att största kornstorlek i den grova ballasten bör anpassas efter konstruktionens geometriska utformning.

- **Injekteringsbruk**, som består av cement, eventuella tillsatsmaterial, sand (maximal kornstorlek ca 2 mm), tillsatsmedel samt vatten. Förhållandet cement:sand (*c/s*) väljs normalt till 1:1,0-1,2. En normal cementhalt i ett injekteringsbruk rekommenderas vara ca 120-150 l/m<sup>3</sup>, vilket motsvarar ca 310-435 kg/m<sup>3</sup>. Dock kan mängden cement minskas om ett tillsatsmaterial, t.ex. flygaska eller slagg, används i bruket, där det sägs att cementhalten kan minskas till lägre än 250 kg/ m<sup>3</sup>. Bruket bör ha relativt långsamt tillstyvnande eftersom dess flytförmåga bör vara god upp till 60 min efter blandning. Tillsatsmedel sätts till bruket för att förbättra dess flytförmåga, fördröja tillstyvnandet, minska vattenseparationen samt ge en expansion. Om det finns behov av extra luft kan också luftporbildande tillsatsmedel användas. Det har skett en utveckling av tillsatsmedlen där användning av moderna tillsatsmedel erbjuder stora möjligheter att ”skräddarsy” egenskaperna hos injekteringsbruket. Det rekommenderas att vattenhalten i injekteringsbruket väljs så låg som möjligt. Mängden cement och vatten i injekteringsbruket väljs normalt så att vattencementtalet blir 0,40-0,50. Injekteringsbruket har traditionellt blandats i speciella blandare för injekteringsbruk, eftersom det har varit svårt att annars få ett välblandat och homogent bruk. Dock har användning av moderna tillsatsmedel gjort det möjligt att även använda frifallsblandare (och tvångsblandare) för att blanda injekteringsbruk med gott resultat.

## Arbetsutförande

Vid gjutning av injekteringsbetong rekommenderas att detta utförs enligt följande:

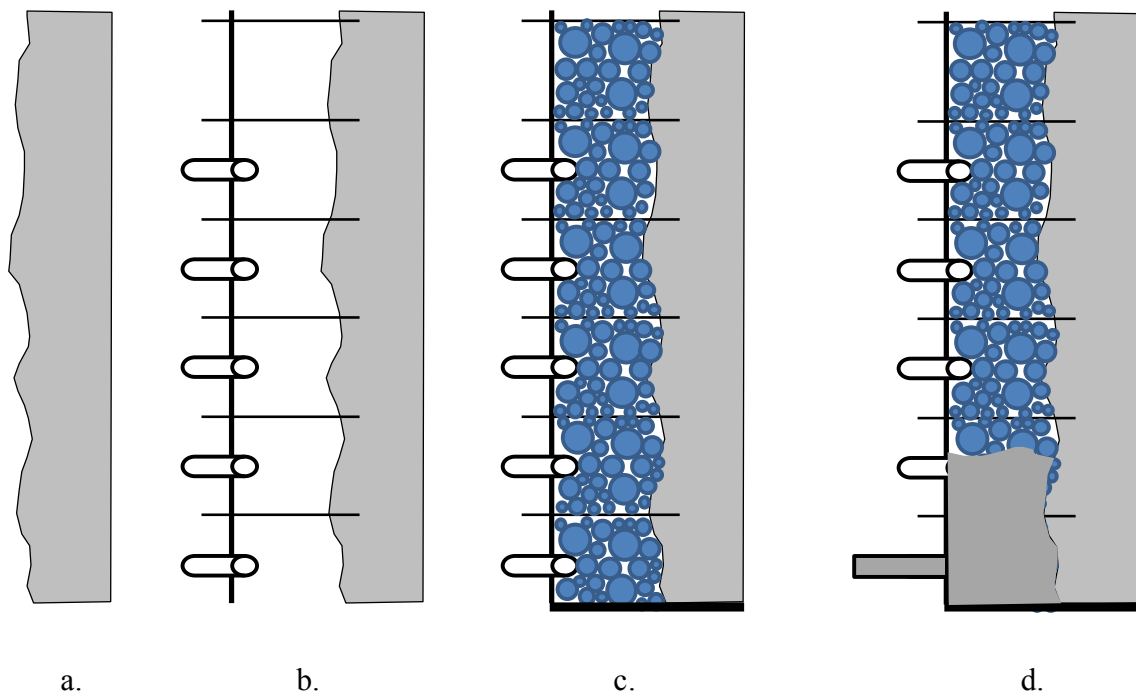
- **Planering**, injekterings- och pejlingsrör inte får placeras med för stora inbördes avstånd. Om gjutningen av injekteringsbetong skall göras mot en befintlig konstruktion bör ytorna på denna bilas och förvattnas för att skapa goda förutsättningar för vidhäftning.
- **Formar**, skall vara helt vattentäta för att undvika läckage av injekteringsbruk och dimensioneras för formtryck från den grova ballasten och injekteringsbruket.
- **Ifyllning av grov ballast**, ska göras i lager om högst 1 meter och med sådana metoder att ballasten inte slås sönder eller separerar. Om hög packningsgrad eftersträvas kan ballasten också kompakteras.
- **Injekteringsbruket**, som traditionellt har blandats i speciella blandare för injekteringsbruk. Genom användning av moderna tillsatsmedel går det dock också att använda frifallsblandare (och tvångsblandare) för att blanda injekteringsbruket. Det rekommenderas att bruket används inom en timme efter blandning.
- **Injektering**, som kan göras med antingen horisontalmetoden (horizontal layer method) eller som en fortskridande injektering (advancing slope method). Med båda dessa metoder skall injekteringen påbörjas i formens lägsta punkt. Injekteringen bör göras så kontinuerligt som möjligt, utan alltför långa avbrott i arbetet. Det är också viktigt att ha kännedom om var injekteringsfronten befinner sig under hela injekteringsprocessen. Under senare år har även en alternativ metod tagits fram där ”injekteringsbruket” hålls på den grova ballasten (”gravitationsmetoden”).
  - **Horisontalmetoden**. Om horisontalmetoden tillämpas förs bruksytan upp från konstruktionens lägsta del genom att växelvis pumpa in bruket i den grova ballasten genom olika horisontella injekteringsrören eller genom vertikala gjutrör. Om injekteringen görs genom vertikala rör får dessa dras upp successivt under gjutningen så att rörändarna ligger 0,5-1,0 m under bruksytan. Stighastigheten bör vara minst 0,1 m/tim, men helst betydligt högre om det inte föreligger problem

med formtryck och/eller vattenseparation. Horisontalmetoden används främst vid höga konstruktioner, t.ex. väggar.

- **Fortskridande injektering.** Om metoden med fortskridande injektering tillämpas påbörjas injekteringen i den smalaste och lägsta delen av konstruktionen tills bruksytan har nått konstruktionens överyta. Därefter fortskrider injekteringen tills hela formen är fylld. Injekteringen görs så att lutningen på bruksfronten är 1:5-1:10. Metoden med fortskridande injekteringen används främst vid injektering av låga utbredda konstruktioner, t.ex. plattor.
- **Gravitationsmetoden.** En alternativ metod att introducera ”injekteringsbruket” är att hålla bruket över den grova ballasten och låta det fylla formen genom gravitationskrafter. ”Injekteringsbruket” pumpas från blandaren till formen. Gravitationsmetoden kan användas både för höga eller utbredda konstruktioner.
- **Skarvar.** Om det finns behov av skarvar stoppas tillförseln av bruk tills detta inte längre är plastiskt. Därefter dras injekteringsslangarna ut från bruket precis före det stelnar och görs rena. När injekteringen återupptas förs injekteringsslangarna nära det hårdnade bruket och färskt bruk pumpas in.
- **Efterbehandling/härdning,** som görs på samma sätt som för konventionell betong.

För att få ett bra resultat vid gjutning av injekteringsbetong krävs det också att entreprenören har god kompetens och lämplig utrustning.

De olika stegen i samband med uppförande av en konstruktion i injekteringsbetong enligt horisontalmetoden illustreras i *Figur 1*; (a) förberedelse av underlaget (t.ex. bilning eller blästring, för att skapa god vidhäftning mot injekteringsbetongen), (b) installation av formen samt injekteringshål, (c) placering av den grova ballasten i formen samt (d) injektering av injekteringsbruket med början i den nedre delen av formen och formen fylls successivt med betong tills hela väggen är gjuten.



*Figur 1. Illustration av de olika stegen i samband med uppförande av en konstruktion i injekteringsbetong.*

## Kontroll

Kontroll av konstruktioner tillverkade med injekteringsbetong skiljer sig inte i någon större utsträckning från konstruktioner tillverkade av konventionell betong. Det som särskilt behöver kontrolleras för injekteringsbetong är egenskaperna hos injekteringsbruket (i färskt tillstånd) samt betongens hållfasthet. Den avgörande egenskapen för injekteringsbruket är att detta skall ha tillräcklig flytförmåga för att kunna fylla ut den grova ballasten, och detta kan provas enligt ASTM C939. Betongens hållfasthet provas i den färdiga konstruktionen (genom att borra ut kärnor) eller genom att tillverka provkroppar i laboratorium (enligt proceduren i ASTM C 943).

För svenska förhållanden finns riktlinjer för kontroll av injekteringsbruket redovisade i Linderson (1992), där hänvisning görs till BBK 79, vilket var det dåvarande styrande dokumentet för utformning och kontroll av betongkonstruktioner. I BBK 79 (och även BBK 94) fanns det ett speciellt avsnitt som behandlade kontroll av konstruktioner utförda med injekteringsbetong. Bland annat föreskrivs förundersökningar av flytförmåga, volymändring och vattenseparation hos injekteringsbruket samt att även pumpbarhet, tid för tillstyvnad och hållfasthet hos bruket skulle undersökas. Dessutom föreskrivs att ballasten skall kontrolleras med avseende på gradering och renhet samt att betongen i den färdiga konstruktionen skall kontrolleras med avseende på tryckhållfasthet och homogenitet. I den sista upplagan av BBK, BBK 04, behandlas inte kontroll av konstruktion utförda med injekteringsbetong i ett separat avsnitt utan istället hänvisas till kontroll av betongkonstruktioner i allmänhet. I dagsläget är EN 206-1 samt EN 13670 som är gällande regelverk rörande betong samt utförande och i dessa standarder finns inget specifikt föreskrivet om injekteringsbetong.

Således är det egentligen inget som skiljer vid kontroll av en konstruktion utförd med injekteringsbetong jämfört med en konventionell betong.

## EGENSKAPER HOS INJEKTERINGSBETONG

Egenskaperna hos en injekteringsbetong skiljer sig i vissa avseende från en konventionell betong, eftersom dess sammansättning och arbetsutförande är annorlunda. I följande kapitel görs en genomgång av egenskaperna hos injekteringsbetong i färskt och hårdnat tillstånd, baserat på den genomförda litteraturstudien. Det visade sig inte finnas så mycket undersökningar av egenskaperna hos injekteringsbetong i litteraturen, förutom vissa mekaniska egenskaper (t.ex. krympning eller vidhäftning mot bakomliggande konstruktion). En förklaring är att injekteringsbetong traditionellt huvudsakligen har använts i konstruktioner där kraven på betongen inte har varit så höga (förutom t.ex. krympning och vidhäftning mot bakomliggande konstruktion). Traditionellt har injekteringsbetong använts i exponeringsmiljöer där endast mindre problem med beständighet förekommer (främst frysning i sötvatten) och därför har det heller inte funnits några direkt krav på god beständighet. Det har heller inte funnits något behov av att undersöka beständighet i någon större utsträckning.

### Egenskaper i färskt tillstånd

I färskt tillstånd skiljer sig en injekteringsbetong från en konventionell betong, främst genom gjutprocessen, där den grova ballasten först placeras i formen och därefter tillförs injekteringsbruket. En avgörande faktor för att en konstruktion med injekteringsbetong ska bli lyckad är därför egenskaperna hos injekteringsbruket, där speciellt flytbarheten är viktig för att bruket skall kunna omsluta den grova ballasten på ett tillfredsställande sätt.

I litteraturen finns det inga uppgifter om att eventuella problem hos injekteringsbetong kan relateras till egenskaperna i färskt tillstånd hos injekteringsbruk. Detta tolkas som att normalt är egenskaperna i färskt tillstånd hos injekteringsbruket inget problem. Detta förutsätter dock att bruket sätts samman på ett lämpligt sätt och att brukets egenskaper verifieras genom provning innan det tillförs den grova ballasten. En metod för att bestämma flytbarheten hos injekteringsbruket finns redovisad i ASTM C 939. I denna metod studeras flödet av bruket genom en flödeskon.

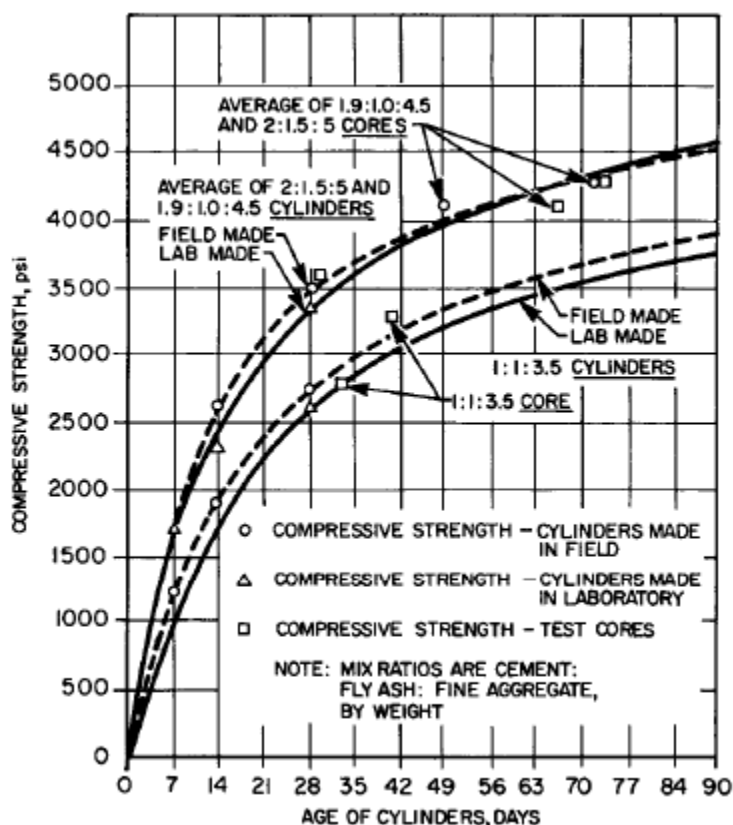
### Mekaniska egenskaper

Mekaniska egenskaper hos injekteringsbetong är relativt väl undersökta, där det främst är undersökningar rörande hållfasthet och krympning som finns redovisade i litteraturen. I allmänhet visar dessa undersökningar att injekteringsbetong får minst lika goda egenskaper som motsvarande konventionell betong. En ytterligare egenskap som är relativt väl undersökt i litteraturen är vidhäftningen mellan injekteringsbetong och bakomliggande konstruktion, eftersom injekteringsbetong ofta har använts för denna typ av gjutningar. Generellt rapporteras om god vidhäftning mellan injekteringsbetong och bakomliggande konstruktion. Däremot saknas det undersökningar i litteraturen på hur vidhäftningen mellan armering och injekteringsbetong blir. En förklaring kan vara att injekteringsbetong traditionellt inte har använts för armerade konstruktioner, utan främst för pågjutningar och oarmerade konstruktioner.

Vad gäller tryckhållfasthet finns det speciella metoder för att bestämma denna hos hårdnad injekteringsbetong, se ASTM C 943 eller Linderson (1992). Enligt metoden i ASTM C 943 tillverkas provkroppar genom att fylla standardcylindrar ( $300 \times 150 \text{ mm}^2$ ) med grov ballast med en maximal kornstorlek som är mindre än 37,5 mm och därefter injekteras bruk underifrån. En motsvarande metod finns beskriven i Linderson (1992) där tryckhållfastheten hos

injekteringsbetong kan bestämmas genom att använda standardkuber med 150 mm kantlängd. Provkroppar tillverkas genom att fylla formarna med grov ballast med en maximal kornstorlek som är mindre än 45 mm och sedan injektera bruk underifrån (det föreslås att injekteringen kan göras genom ett 12 mm rör). Övrig hantering av provkropparna görs enligt samma förfarande som för konventionell betong.

Undersökningar har genomförts där hållfastheten hos provkroppar tillverkade enligt proceduren i ASTM C 943 har jämförts med hållfastheten på cylindrar utborrade ur verkliga konstruktioner, se *Figur 2*.



*Figur 2. Jämförelse mellan hållfasthet uppmätt i provkroppar tillverkade i laboratorium (lab made) respektive cylindrar utborrade från färdig konstruktion (field made). ACI (1997a).*

Uppmätta hållfastheter som redovisas i *Figur 2* visar på god överensstämmelse mellan provkroppar tillverkade i laboratorium samt utborrade från färdig konstruktion. Således ger provkroppar tillverkade enligt den procedur som finns beskriven i ASTM C 943 en god uppfattning av hållfastheten i färdig konstruktion.

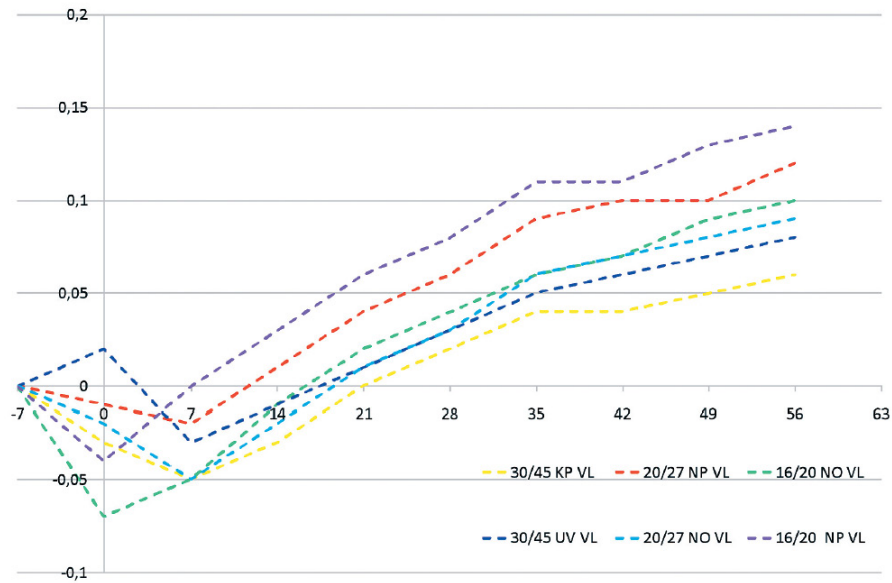
Det finns en del äldre undersökningar av de mekaniska egenskaperna hos injekteringsbetong i färdig konstruktion, se t.ex. Davis (1947), Davis (1958) samt Davis (1960). I dessa undersökningar har mekaniska egenskaper hos den färdiga betongen samt vidhäftning mot befintliga konstruktioner studerats. Resultaten visar att krympningen hos en injekteringsbetong blir låg, att vidhäftningen mot befintlig konstruktion (i de aktuella undersökningarna betong) blir mycket god samt att krympningen hos injekteringsbetongen också blir låg. Det sägs att krympningen hos injekteringsbetong blir ca 50 % av den för motsvarande konventionell betong. Den goda vidhäftningen mot befintliga konstruktioner förklaras huvudsakligen med två faktorer:

(i) att injekteringsbruket tränger in i ojämnheter och porer i ytan och skapar initiell vidhäftning och (ii) den låga uttorkningskrympningen hos injekteringsbetong som medför att eventuella spänningar som uppstår i gränsskiktet mellan pågjutning och underlag blir små.

I Sverige har injekteringsbetong använts vid en del reparationer av existerande betongkonstruktioner. Aktuella exempel är vid renoveringarna av Gamla Årstabron 2005 och en tunnelbanebro i Enskede 2009-2010, se Paulsson-Tralla & Ekman (2008) samt Petersén (2010). Bakgrunden till att just injekteringsbetongen valdes som en lämplig teknik för dessa entreprenader var att det fanns krav på låg krympning och god vidhäftning mellan pågjutningar och underliggande betong samt begränsad värmeutveckling. I samband med dessa reparationer gjordes också en del undersökningar av egenskaperna hos injekteringsbetongen som finns redovisade. Resultaten visar att den använda injekteringsbetongen fick de egenskaper som eftersträvades, dvs. låg krympning, god vidhäftning mot bakomliggande betong samt begränsad värmeutveckling. Mätningar av krympning redovisas i Paulsson-Tralla & Ekman (2008 & 2011) och resultaten visar att krympning är betydligt lägre än för motsvarande konventionell betong (dock är inte mätningarna utförda enligt SS 13 72 15 som är standarden för bestämning av krympning hos hårdnad betong, se vidare nedan). Vidhäftningen mot bakomliggande konstruktion visade sig vara mycket god. Värmeutvecklingen från injekteringsbetongen visade sig också bli låg jämfört med motsvarande konventionell betong, eftersom cementhalterna är lägre i injekteringsbetongen än i den konventionella betongen. De låga cementhalterna i injekteringsbetongen visade sig dock kunna vara ett potentiellt problem om gjutningen utfördes vid låga temperaturer, vilket var fallet vid tunnelbanebron i Enskede, då värmen från cementreaktionerna i injekteringsbetong kunde vara så låg att betongen riskerade att frysa vid ung ålder. I motsvarande konventionell betong är cementhalterna högre, vilket ger större värmeutveckling från cementreaktionerna och risken för frysning vid ung ålder blir därför också lägre.

En ytterligare undersökning av där hållfasthet och krympning hos injekteringsbetong presenteras i Bergman & Paulsson-Tralla (2011). Resultaten visar att hög hållfasthet kan uppnås med betydligt lägre cementhalter (ca 40 %) i en injekteringsbetong jämfört med motsvarande konventionell betong. Vidare redovisas ytterligare mätningar av krympning hos injekteringsbetong där inverkan av ballasttypen har studerats. Resultaten visar att injekteringsbetong krymper mindre än en konventionell betong, där ca 80 % lägre krympning har mätts upp för injekteringsbetongen, samt att ökande storlek på den grova ballasten ger minskad krympning. Dock kan dessa resultat delvis ifrågasättas. Uppmätta längdändringar redovisas inte enligt SS 13 72 15 som är standarden för bestämning av krympning hos hårdnad betong, där mätningen skall inledas efter 7 dygn (dvs. när provkropparna har tagits upp ur den inledande vattenlagringen). Istället redovisas längdändringen från gjutning, vilket får till följd att betongen uppvisar en svällning i de fall provkropparna har vattenlagrats innan mätning har påbörjats (fram till 7 dygn). Dessutom har mätningarna avslutats 56 dygn efter att provningen har inletts, vilket betyder att betongen inte har uppnått sin slutkrympning utan fortfarande krymper medans den krympning som anges för den konventionella betongen är dess slutkrympning (efter 231 dygn).

I *Figur 3* ges ett exempel på uppmätt krympning som redovisas i Bergman & Paulsson-Tralla (2011). Provkropparna har vattenlagrats i 7 dygn innan mätning har påbörjats och uppmätt längdändring relateras till längden före vattenlagring. De olika indexen på kurvorna i *Figur 3* visar kornstorlekar på den grova ballasten, om den grova ballasten är krossad (K) eller naturlig (N), om den grova ballasten är packad (P) eller opackad (O), samt simulerad undervattensgjutning (UV). VL indikerar att provkropparna har vattenlagrats efter gjutning.



Figur 3. Krympning (56 dygn) som har mätts upp för injekteringsbetong med olika sammansättning av den grova ballasten. Figur från Paulsson-Tralla (2010).

I Figur 3 går inverkan av kornstorleken på den grova ballasten på krympningen att observera, där större ballastkorn medför lägre krympning. Störst och minst krympning har betongerna med 16/20 mm samt 30/45 mm grov ballast. Det går också att observera att samtliga krympkurvor inte har planat ut efter 56 dygn, vilket betyder att krympningen vid 56 dygn inte är slutkrympningen. Om proceduren i SS 13 72 15 hade följts (där den slutliga bestämningen av krympningen görs vid 231 dygns ålder) hade man därför fått en bättre uppfattning av den slutliga krympningen.

Sammanfattningsvis visar undersökningarna i litteraturen att hållfastheten hos injekteringsbetong normalt blir samma eller högre jämfört med motsvarande konventionella betong. Om sammansättning hos injekteringsbetongen optimeras med avseende på den grova ballasten, kan mängden bindemedel i betongen minskas utan att hållfastheten reduceras. Undersökningarna av krympning hos injekteringsbetong visar att denna är låg (mindre än 50 % av krympningen hos konventionell betong). Dessa resultat var förväntade eftersom en av de stora anledningarna till att använda injekteringsbetong är just att dess krympning är mindre än för konventionell betong. Den mindre krympningen förklaras med att vattenhalten är lägre i en injekteringsbetong, jämfört med en konventionell betong, och att den grova packade ballasten skapar ett skelett som håller ihop betongen.

## Beständighetsegenskaper

I litteraturen finns endast knapphändiga uppgifter kring beständigheten hos konstruktioner utförda med injekteringsbetong. En förklaring är att injekteringsbetong traditionellt har använts till konstruktioner exponerade i miljöer som inte är så aggressiva och där kraven på beständighet därför inte har varit så höga. Således har det heller inte funnits något direkt behov av att undersöka beständigheten hos injekteringsbetong.

I de undersökningar som finns i litteraturen redovisas huvudsakligen goda erfarenheter vad gäller beständigheten hos injekteringsbetonger även för konstruktioner exponerade i tuffa miljöer, se

t.ex. ACI (1997a) eller Sandström (2000). I ACI (1997a) ges också några exempel på konstruktioner där injekteringsbetong har använts med gott resultat även i tuffare exponeringsmiljöer (där betongen exponerats för frysning, men inte klorider) i upp till 35 år utan synliga tecken på nedbrytning. Det rapporteras till och med god frostbeständighet för betonger där ingen extra luft har blandats i, förutom den luft som skapats vid inblandning av plasticerande tillsatsmedel och grout fluidifier. Det finns också några svenska erfarenheter av beständighet hos injekteringsbetong i tuffa miljöer, se t.ex. Bergman & Paulsson-Tralla (2011), där också goda erfarenheter rapporteras, även i miljöer med klorider närvarande.

## Frostbeständighet

I litteraturen finns ett fåtal undersökningar rörande frostbeständigheten hos injekteringsbetonger, t.ex. Tynes & McDonald (1968), Paulsson-Tralla (2010) samt Bergman & Paulsson-Tralla (2011).

I Tynes & McDonald (1968) har frostbeständigheten hos injekteringsbetong studerats för betonger med olika lufthalter. Med frostbeständighet avses här frysning i sötvatten och frostbeständigheten har undersökts genom att studera tunnslip och bestämma avståndsfaktorn. Resultaten visar att injekteringsbetong utan extra luft har sämre frostbeständighet än injekteringsbetong och/eller konventionell betong om extra luft satts till (genom inblandning av luftporbildande tillsatsmedel). Den slutsats som dras är att det går att uppnå motsvarande frostbeständigheten hos en injekteringsbetong som för en konventionell betong, under förutsättning att ett bra luftporsystem har skapats i betongen.

I Paulsson-Tralla (2010) samt Bergman & Paulsson-Tralla (2011) presenteras resultat från provning av frostbeständighet hos injekteringsbetong i både med sötvatten och med saltvatten, enligt SS 13 72 44. Inga uppmätta data redovisas utan resultaten nämns endast i texten. Det nämns att frostbeständigheten i sötvatten är mycket god (dvs. avskalning efter 56 fryscyklar är mindre än  $0,1 \text{ kg/m}^2$ ) och i saltvatten är god (dvs. avskalning efter 56 fryscyklar är mindre än  $0,2 \text{ kg/m}^2$  eller mindre än  $0,5 \text{ kg/m}^2$  om  $m_{56}/m_{28} < 1$ ) vid provning enligt SS 13 72 44. Det finns dock inga uppgifter om hur provade betonger har varit sammansatta, förutom att  $vct$  var 0,38. Det finns heller inga uppgifter om vilka lufthalter den färska betongen (eller injekteringsbruket) har haft eller vid vilken ålder betongen har provats. Vidare sägs att mycket god frostbeständighet vid frysning i saltvatten gått att uppnå genom att ytterligare sänka  $vct$  och/eller sätta till extra luft.

Ett frågetecken kring injekteringsbetong är dess frostbeständighet. Traditionellt uppnås god frostbeständighet genom att sänka  $vct$  och/eller sätta till extra luft till betongen. I en injekteringsbetong medför sänkning av  $vct$  inga problem medan tillsättning av extra luft kan medföra problem, eftersom det kan vara svårt att skapa ett stabilt luftporsystem i injekteringsbruket, speciellt om injektering görs med tryck, om bruket är lättflytande och/eller har låg sandhalt. Dessutom är ett problem hur mycket luft injekteringsbruket skall innehålla för att betong ska få god frostbeständighet.

Lufthalten i bruket efter injektering är egentligen den som är intressant, men eftersom denna kan vara svår att bestämma är det lufthalten i det färska bruket som är av intresse. En svårighet kan vara att uppskatta hur mycket av den tillsatta luften som försvinner i samband med injekteringen, så att lufthalten i det färska bruket är tillräckligt hög för att uppnå en frostbeständig betong. I U.S. Army Corps of Engineers (1984) finns det en rekommendation på lämplig lufthalt i det färska injekteringsbruket, där det sägs att för att få god frostbeständighet i en injekteringsbetong, med avseende på frysning i sötvatten, så skall injekteringsbruket ha en lufthalt på  $9 \text{ volym-\%} \pm 1$



% (uppmätt 15 min efter blandning). Det finns inga rekommendationer på lämpliga lufthalter för att uppnå god frostbeständighet vid frysning i närvaro av klorider.

Resultaten av den genomförda litteraturstudien visar att det i internationell litteratur inte finns några egentliga erfarenheter av injekteringsbetong exponerad i miljöer där det finns risk för frysning i närvaro av klorider.

## Armeringskorrosion

I litteraturen finns det inga egentliga undersökningar rörande beständigheten hos injekteringsbetong med avseende på armeringskorrosion. En förklaring är att injekteringsbetong traditionellt inte har använts i miljöer där klorider förekommer och således finns det heller ingen större risk för armeringskorrosion. Därför har det heller inte funnits något behov av att göra undersökningar av beständigheten med avseende på risken för armeringskorrosion hos injekteringsbetong.

Det finns en del äldre undersökningar av permeabilitet hos injekteringsbetong utförda under 1940- och 1950-tal. Permeabiliteten kan användas för att bedöma beständigheten med avseende på initiering av armeringskorrosion. En låg permeabilitet innebär att betongen är tät vilket i sin tur normalt ger stort motstånd mot inträngning av skadliga ämnen, t.ex. koldioxid eller klorider. Ett exempel på en sådan undersökning redovisas i US Corps of engineers (1951), där resultaten visar att injekteringsbetong får lägre permeabilitet, än motsvarande konventionell betong.

Generellt bör det dock inte vara någon skillnad i egenskaperna hos injekteringsbetong och konventionell betong vad gäller beständighet med avseende på armeringskorrosion. Det kan till och med vara så att en injekteringsbetong får bättre beständighet än motsvarande konventionell betong, eftersom injekteringsbruket bör bli mer homogent än cementbruk i en konventionell betong samt att ballasten i injekteringsbetong blir bättre omsluten av cementbruk jämfört med konventionell betong. Den mindre sprickrisken kan härledas till att krympningen hos injekteringsbetong är ungefär hälften av den för konventionell betong.

## Sammanfattning – egenskaper hos injekteringsbetong

Resultaten från den genomförda litteraturstudien rörande egenskaperna hos injekteringsbetong kan sammanfattas enligt följande:

- **Färskt tillstånd.** I färskt tillstånd är det egenskaperna hos injekteringsbruket som är av intresse. Speciellt flytbarheten hos injekteringsbruket är viktig, för att bruket skall kunna omsluta den grova ballasten på ett tillfredsställande sätt. Normalt är egenskaperna i färskt tillstånd inget problem hos injekteringsbetong under förutsättning av injekteringsbruket har lämplig flytbarhet.
- **Mekaniska egenskaper,** där injekteringsbetong normalt får motsvarande eller bättre egenskaper än konventionell betong. Dock finns en del faktorer som inte har undersökts, t.ex. vidhäftning mellan injekteringsbetong och armering. En förklaring är att injekteringsbetong traditionellt inte har använts i konstruktionsdelar med högre krav på bärförmåga. Därför har det heller inte funnits något behov att undersöka faktorer som vidhäftning mellan injekteringsbetong och armering.

- **Beständighetsegenskaper**, där injekteringsbetong traditionellt inte har använts i konstruktioner exponerade i tuffare miljöer och således har det heller inte funnits något behov att undersöka beständigheten.

Den genomförda litteraturstudien visar att det finns en del kunskapsluckor vad gäller mekaniska egenskaper och beständighetsegenskaper hos injekteringsbetong. I framtiden finns det intresse av att använda injekteringsbetong även i konstruktioner med högre krav på bärförmåga exponerade i tuffa miljöer. Därför finns det behov av ytterligare undersökningar för att få bättre kunskaper om egenskaperna hos injekteringsbetong.

## AVSLUTANDE KOMMENTARER

Tekniken med injekteringsbetong erbjuder goda möjligheter att skapa betongkonstruktioner som får god beständighet och liten krympning. Åtgången av cement blir normalt också lägre än för konventionell betong vilket bidrar till minskad miljöbelastning och lägre kostnader.

Injekteringsbetong är också en teknik som är relativt tyst och inte så utrymmeskrävande, vilket gör den lämplig för användning i stadsmiljöer.

Det finns ett antal nyckelfaktorer som är viktiga för att en gjutning med injekteringsbetong blir lyckad:

- **Planering av genomförandet**, där mer planering krävs när en konstruktion skall uppföras med injekteringsbetong jämfört med om konventionell betong hade använts. Detta gäller exempelvis utformning av formar och utrustning för blandning och injektering av bruk.
- **Utformning av formkonstruktion**, där gjutning av konstruktioner med injekteringsbetong ställer högre krav på formkonstruktionen. Detta eftersom formtrycken blir högre vid gjutning med injekteringsbetong än för konventionell betong.
- **Sammansättning av den grova ballasten**, där denna skall vara sammansatt på ett sådant sätt att betongen får önskade egenskaper, t.ex. vad gäller konstruktionens geometri samt krympning.
- **Sammansättning av injekteringsbruket**, där god inträngningsförmåga samt liten separationsbenägenhet är väsentligt, för att fylla ut den grova ballasten på ett bra sätt och ge en homogen betong med god omslutning av ballast. Detta uppnås genom lämpliga val av bindemedel (cement eventuellt kombinerat med tillsatsmaterial) samt tillsatsmedel.
- **Utförande**, där viktiga faktorer är hur formar är utformade, hur den grova ballasten appliceras i formarna samt hur injekteringsbruket blandas och fylls i formarna.
- **Efterbehandling och kontroll**, som görs på samma sätt som för konventionell betong.

Av sammanställningen i denna rapport framgår att tekniken med injekteringsbetong inte är någon ny teknik utan har använts sedan slutet av 1930-talet. Användningen har främst varit i konstruktioner där en låg krympning och god vidhäftning mot bakomliggande konstruktion har eftersträvat men där exponeringsmiljöerna inte har varit speciellt aggressiva. Det primära med konstruktionerna har heller inte varit deras bärförmåga utan denna har normalt ansetts vara tillräcklig god ändå. Detta återspeglas också i litteraturen där de undersökningar som finns redovisade om injekteringsbetong huvudsakligen behandlar just krympning och vidhäftning mot bakomliggande konstruktion. Det finns också ett fåtal undersökningar där beständigheten har studerats, men dessa undersökningar har varit fokuserade på relativt snälla miljöer, dvs. frostutsatta konstruktioner där inga klorider är närvarande.

I framtiden finns det ett intresse att också använda injekteringsbetong i tuffare miljöer, t.ex. i marina miljöer eller längs tösaltade vägar, vilket också betyder att kraven på god beständighet även i tuffa miljöer kommer att vara mer i fokus. Dessutom finns det intresse att använda injekteringsbetong i konstruktioner med ökande krav på bärförmåga då bland annat vidhäftning mellan betong och armering också blir intressant. Innan injekteringsbetongen kan användas för denna typ av konstruktioner krävs det dock ytterligare kunskap om dess egenskaper, speciellt vad gäller mekaniska egenskaper och beständighet. I följande kapitel ges därför förslag på sådant som behöver utredas ytterligare för att få bättre kunskap om egenskaperna hos injekteringsbetong.

Således finns det en del faktorer rörande egenskaperna hos injekteringsbetong som behöver utredas ytterligare för att bättre kunna utnyttja injekteringsbetong, även i tuffa miljöer.

## BEHOV AV FORTSATT STUDIER

Det finns ett antal frågeställningar som behöver utredas ytterligare innan injekteringsbetong kan användas även för konstruktioner i tuffa miljöer. En aktuell sammanställning av sådana frågeställningar finns i Sandström (2009). Baserat på vad som framkommit i SBUF-projekt 12550, samt det som föreslås i Sandström (2009), föreslås följande som sådana frågeställningar som behöver utredas vidare rörande egenskaperna hos injekteringsbetong:

- A. **Vad de mekaniska egenskaperna och krympningen blir för injekteringsbetong med olika sammansättningar.**
  - a. Temperaturutveckling under hårdnande.
  - b. Hållfasthet hos injekteringsbetong.
  - c. Krympning hos injekteringsbetong – inklusive slutkrympning.
  - d. Krypning hos injekteringsbetong.
- B. **Vad vidhäftningen blir i injekteringsbetong med olika sammansättningar och om denna kan jämföras med konventionell vibrerad betong.**
  - a. Mot bakomliggande konstruktion (vid pågjutningar).
  - b. Mellan betong och armering.
- C. **Vad beständigheten blir för injekteringsbetong med olika sammansättningar.**
  - a. Med avseende på saltfrostangrepp.
  - b. Med avseende på kloridinitierad armeringskorrosion.
  - c. Andra relevanta nedbrytningsmekanismer (beroende på användningsområde).
- D. **Hur injekteringsbetong skall sättas samman för att önskade egenskaper skall uppnås.** Exempel på frågeställningar:
  - a. Sammansättning av den grova ballasten för att uppnå god packningsgrad.
  - b. Sammansättning av injekteringsbruket.
  - c. Hur kan volymen injekteringsbruk minimeras, med bibehållen beständighet hos injekteringsbetongen?
  - d. Skapa god utfyllnad av bruket i samband med injektering.
  - e. Lufthalt.
- E. **Hur konstruktioner av injekteringsbetong skall dimensioneras och utformas för att uppnå god bärförmåga och beständighet (även i tuffa exponeringsmiljöer), dvs. riktlinjer för hur konstruktioner med modern injekteringsbetong skall utföras.** Detta innefattar också hur en modern injekteringsbetong skall sättas samman, dvs. sammansättning av den grova ballasten och injekteringsbruket.

Av förslagen på fortsatta studier ovan är A-C laboratorieundersökningar och D baserat på resultaten från A-C samt ytterligare litteraturstudier och analyser. Slutligen ställs resultaten samman i E, där riktlinjer för sammansättning av injekteringsbetong samt utförande av konstruktioner i injekteringsbetong tas fram.

Innan injekteringsbetong används i tuffare exponeringsmiljöer finns det dessutom troligen också behov av fältundersökningar samt något demonstrationsprojekt för att verifiera att önskade egenskaper uppnås hos betongen. I ett första skede föreslås dock att frågeställningarna A-E undersöks. När resultaten från dessa undersökningar är klara formuleras ett nytt projekt där fältundersökningar och eventuella demonstrationsprojekt genomförs.

Förutom de tekniska frågeställningar som redovisas ovan behöver också en del frågor rörande produktionsteknik, t.ex. ekonomi, utrustning samt arbetsutförande också utredas ytterligare.

## REFERENSER

ACI (1997a), Guide for the Use of Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete Applications, ACI rapport 304.1 R-92, ACI – American Concrete Institute, Farmington Hills, 1997.

ACI (1997b), Heavyweight Concrete: Measuring, Mixing, Transporting, and Placing, ACI rapport 304.3R-96, ACI – American Concrete Institute, Farmington Hills, 1997.

ACI (2000), Preplaced-aggregate concrete, kapitel 7 i *Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete*, ACI rapport 304R-00, ACI – American Concrete Institute, Farmington Hills, 2000.

Alberts, C. (1966), Speciella förfaranden vid betongarbeten och injektering, Kurs i Betongteknik, CBI (Cement och Betonginstitutet), Stockholm, 1966.

Bergman, I. & Paulsson-Tralla, J. (2011), Injekterad och slipad betong ger jämt golv, *Husbyggaren*, Nr. 2, sid. 28-32, 2011.

Bygginnovationen (2010), Reparation av betongkonstruktioner – Skador och reparationsmetoder från 1970-talet och framåt. Reparationsbehov, forskningsbehov, effektivitet, Bygginnovationen, Stockholm, 2010.

Cullum, D.B. (2003), The Preplaced Aggregate Concrete Method for Structural Concrete Repair, paper i AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association) 2003 Conference Proceedings, AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association), Lanham, 2003.

Davis, R.E. (1960), Prepak Method of Concrete Repair, *ACI Journal*, Vol. 57, Nr. 2, 1960, sid. 155-172.

Sandström (2009), Injekteringsbetong – En litteraturstudie samt ett förslag på fortsatt arbete, Elforsk rapport 09:89, Elforsk, Stockholm, 2009.

Linderson, B. (1992), Injekteringsbetong, kapitel 28 i *Betonghandbok – Arbetsutförande. Projektering och byggande*, Svenska Byggtjänst, 1992.

Neville, A.M. & Brooks, J.J. (1987), Concrete Technology, Andra upplagan, Pearson, Harlow, 1987.

Paulsson-Tralla, J. & Ekman, T. (2008), Injekteringsbetong kan bli ett miljövänligt alternativ, *Husbyggaren*, Nr. 2, sid. 70-78, 2008.

Paulsson-Tralla, J. (2010), Modern injekteringsbetong – Ett beprövat material med goda tekniska egenskaper och låg miljöpåverkan, *Bygg & Teknik*, Nr. 7, sid. 12-18, 2010.

Petersén, P. (2010), Undersökning av gjutmetodens inverkan på vidhäftning och sprickrisk vid reparation av en betongbro, Examensarbete 308, Arkitektur och samhällsbyggnad, Kungliga tekniska högskolan, Stockholm, 2010.

Tuutti, K. (1982), Corrosion of steel in concrete, fo 4.82, CBI (Cement- och Betonginstitutet), Stockholm, 1982.

Tynes, W.O. & McDonald, J.E. (1968), Investigation of Resistance of Preplaced-Aggregate Concrete to Freezing and Thawing, *Miscellaneous Paper C-68-6*, U.S. Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, 1968.

U.S. Army Corps of Engineers (1951), Investigations of the Suitability of Prepacked Concrete for Mass and Reinforced Concrete Structures – Technical memorandum, Document No 6-330,

Vicksburg, 1951.

U.S. Army Corps of Engineers (1984), Preplaced-aggregate concrete, kapitel 10-2 i *Engineering and Design – Standard Practice for Concrete for Civil Works Structures*, Manual EM 1110-2-2000, Department of the army, Washington, 1984.

Warner, J. (2005), Preplaced-Aggregate Concrete – A resource for tight situations, *Concrete International*, September 2005, sid. 34-38, 2005.