

En studie av Undervattensbetong med antiutvaskningsmedel

**Med tyngdpunkt på de färskas
egenskaperna och frostbeständigheten**

Elforsk rapport 03:16



En studie av Undervattensbetong med antiutvaskningsmedel

**Med tyngdpunkt på de färskas
egenskaperna och frostbeständigheten**

Elforsk rapport 03:16

En studie av Undervattensbetong med antiutvaskningsmedel

**Med tyngdpunkt på de färskas
egenskaperna och frostbeständigheten**

Elforsk rapport 03:16

Emma Björkenstam

Förord

Genom detta projekt har undervattensbetong åter lyfts fram och studerats. Resultaten i rapporten tyder på att utvecklingen har gått framåt materialmässigt medan någon större forskning av egenskaper i färskt och hårdnat tillstånd inte skett på närmare 20 år i Sverige.

Undervattensbetong, eller betong gjuten under vatten, är ett framtidsområde och kan med rätt forskningsarbete bli ett mycket bra och lönsam metod för både nybyggnation och reparation av våra Svenska betonganläggningar/konstruktioner.

Arbetet har genomförts av Vattenfall Utveckling AB inom verksamområdet "Effektivisering, säkerhet och underhåll". Särskilt tack vill dock lämnas till Kjell Fransson på Vattenfall Utvecklings Betongprovning samt de entreprenörer, tillsatsmedelstillverkare, högskolor och myndigheter som gjort detta projekt möjligt.

Älvkarleby September 2002

Emma Björkenstam
Vattenfall Utveckling AB

Sammanfattning

Projektet grundar sig på en önskan från de två finansiärerna, Vägverket och Elforsk (vattenkraften). Båda vill ha en god kvalitetssäkring genom att kunna kontrollera den undervattensbetong som används. Vattenkraften vill kunna reparera sina betongkonstruktioner på ett lämpligt sätt utan att behöva sänka vattennivån i dammen eller bygga täta kassuner. Vägverket har en önskan att kunna gjuta med undervattensbetong vilken innehåller antiutvaskningsmedel (AUV-medel) utan att riskera frostskador i de fall undervattensbetongen når upp till icke frostfritt djup. (Detta är i dagsläget inte möjligt.) Genom ökad kunskap förväntar man sig kunna genomföra säkrare och rationellare gjutningar och reparationer.

Det bästa resultatet av projektet ansågs erhållas om en dialog med de involverade parterna på den aktuella marknaden skapades. Därför startade projektarbetet med en workshop. Därefter följde den övergripande projektplaneringen vilken sedan huvudsakligen kunnat följas. Det som lämnats hän är arbetet med den självkompakterande betongen, som utförs vid Lunds Tekniska Högskola och där Bertil Persson är kontaktperson. Det som tillkommit är den resa som genomfördes till Kanada år 2000 där diskussioner fördes med professor Kamal Khayat, som är ledande inom områdena undervattensbetong och självkompakterandebetong.

Projektet koncentrerade sig i första hand på att finna lämpliga metoder att mäta de färskas egenskaperna och därefter metoder för att kontrollera de hårdnande. Vad gäller det sistnämnda så är det med tyngdpunkt på frostbeständigheten. (När väl provningsmetoder och provningsprogram är framtaget finns grunden för all fortsatt forskning inom området.) Sist har projektet riktat in sig på att finna lämpliga vägar att lösa problemet med frostbeständigheten och då främst genom att titta på olika betongsammansättningar och tillsättning av luftporbildare.

Syftet och målet med projektet var att ge ägarrepresentanterna ett verktyg att kontrollera den undervattensbetong som levereras alt. erbjuds dem. Ytterligare ett syfte och mål var att se över AUV-medlens inverkan på frostbeständigheten samt hur och om god frostbeständighet kan erhållas.

Resultatet av utförda försök ger ett färdigt provningsprogram med provningsmetoder samt förslag på riktvärden för de egenskaper som kan föreskrivas en betong som ska gjas under vatten. Försöken har visat på att de provningsmetoder som används idag, sättmått och utbredningsmått, inte är tillräckligt för att visa på undervattensbetongs egenskaper. Dessutom har försök visat på att en frostbeständig undervattensbetong med AUV-medel med bibehållna gjutegenskaper kan erhållas vid inblandning av luft. Rekommenderad lufthalt där är ca. 7-8%. Helst inte mycket högre då tryckhållfastheten kan äventyras.

För reparationer har även försök med självkompakterande betong gjuten under vatten visat på god frostbeständighet. Vad gäller den självkompakterande betongens egenskaper mot utvaskning är uppgifterna osäkra.

Det är en komplicerad process att gjuta under vatten och än svårare är det om man vill göra det under kontrollerade former. Att förekomsten av gjutningar är låg gör saken än värre i och med att erfarenheterna därmed är få. Det har även under den senaste tiden förekommit några fall där vissa problem förekommit vid gjutningar och därmed bör området studeras närmare för att framtida brister ska kunna undvikas och användningsområdena kunna utvecklas. Dessutom bör en kompetens byggas upp eftersom ett behov av detta finns på marknaden.

Mycket av den kunskap som krav och riktlinjer grundar sig på är kunskap som togs fram för över 20 år sedan, vilket i sig inte betyder att det alltid är fel, men utvecklingen vad gäller material och tekniker har gått framåt men forskningen har stått stilla. Då menas forskning där fokus är just undervattensbetong. Betonghandboken är ett sådant exempel där viss ny kunskap måste in.

Nedan listas en del områden som bör studeras närmare i framtida forskningsprojekt. Vad gäller frostbeständigheten visar detta projekt att det krävs en insats från materialtillverkarna för att komma vidare med frostbeständigheten eftersom kombinationen AUV-medel, flyttillsatsmedel och luftporbildare måste kunna fungera ihop och detta arbete måste drivas av materialtillverkarna i kombination med betongforskare.

- ❑ Prova i fält för att få in mer mätvärden för att skapa en erfarenhetsbas av provningsresultat för de nya provningsmetoderna.
- ❑ Studera konsistensen hos betong gjuten under vatten och eventuella följder för utvaskning och bruks- och stenseparation
- ❑ Skriva tydliga rekommendationer för undervattensbetong med AUV-medel (liknande de som finns för självkompakterande betong) via Svensk Betongförening
- ❑ Jämföra fältförsök och fullskala i labb enligt VV Publ. 2002:50
- ❑ Utvärdera reometern som finns hos Vattenfall Utveckling AB för att på ett enkelt sätt kunna utveckla din betong och kontrollera de färska egenskaperna, reologin.
- ❑ Ta fram en frostbeständig undervattensbetong med goda gjutegenskaper. Förslagsvis i samarbete med en tillsatsmedelstillverkare. De resultat som erhållits måste verifieras och repeterbarheten kontrolleras. Verifiering i full skala vore en bra avslutning.
- ❑ Vidarutveckla L-lådan, jämföra med SKB-lådan
- ❑ Utvärdera olika metoder för frostbeständighet hos undervattensbetong. Placera provkroppar ute i naturliga vattendrag för att studera betongens nedbrytning i fält kontra i laboratoriemiljö, framförallt i sötvatten.
- ❑ Sprickrisken vid gjutning av grövre konstruktioner.
- ❑ Inverkan av utförandet på framförallt frostbeständigheten – pumpbarhet, vibrering, gjutförlopp etc.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	3
1.2	SYFTE/MÅL.....	4
1.3	METOD.....	4
1.4	BEGRÄNSNINGAR.....	5
1.5	GENOMFÖRANDE	5
2	WORKSHOP	6
3	PROJEKTPLAN	7
4	RESA TILL KANADA	8
5	SAMMANSTÄLLNING AV TIDIGARE UTFÖRDA FULLSKALEFÖRSÖK – ENLIGT VÄGVERKETS RIKTLINJER	9
5.1	SAMMANSTÄLLNING AV GENOMFÖRDA FÖRSÖK	10
6	REPARATIONER UNDER VATTEN.....	11
7	JÄMFÖRELSE – SJÄLVKOMPakterandebetong och undervattensbetong	13
8	STUDIE AV DEN FÄRSKA BETONGENS EGENSKAPER	15
8.1	UTVASKNING OCH ARBETBARHET	15
8.2	LABORATORIEFÖRSÖK.....	23
9	STUDIE AV DEN HÅRDNAD E BETONGENS EGENSKAPER	26
9.1	TRYCKHÅLLFASTHET	26
9.2	FROSTBESTÄNDIGHET	26
10	PROVNINGSPROGRAM.....	29
10.1	PROVNINGSMETODER	29
10.2	DELMATERIAL OCH SAMMANSÄTTNING.....	30
10.3	GJUTNING OCH PROVTAGNING	34
11	GENOMFÖRANDE AV FÖRSÖK	38
11.1	STEG 1 – INLEDANDE FÖRSÖK PÅ FÄRSKA EGENSKAPER.....	38
11.2	STEG 2 – REFERENSBLANDNINGAR	38
11.3	STEG 3 – FLERTAL MINDRE BLANDNINGAR.....	40
11.4	STEG 4 – SLUTLIGA FÖRSÖK	44
11.5	ERFARENHETER FRÅN FÄLTET	46
11.6	JÄMFÖRELSE FÄRSKA EGENSKAPER I DIAGRAMFORM	47
12	RESULTAT.....	51
13	DISKUSSION	54
13.1	PROVNINGSPROGRAM	54
13.2	FROSTBESTÄNDIG UNDERVATTENS BETONG	54
13.3	FULLSKALEFÖRSÖK KONTRA RESULTAT I FÄLT	55
14	SLUTSATS.....	57

14.1 FORTSATT FORSKNINGSBEHOV	57
15 REFERENSER	58

Bilagor

A PROJEKTBSKRIVNING – SJÄLVKOMPakterande BETONG GJUTEN UNDER VATTEN

B SAMMANSTÄLLNING AV GENOMFÖRDA FULLSKALEFÖRSÖK

C RITNINGAR AV PROVNINGSUTRUSTNING

D RECEPT OCH FÖRSÖKSRESULTAT

E PROTOKOLL

1 Inledning

Betonggjutningar under vatten har utförts sedan senare hälften av 1800-talet. Under årens lopp har metoden utvecklats och varierats på många sätt, mer eller mindre säkra. Misslyckanden vars orsaker man ibland kunnat spåra ibland inte, har inträffat och inträffar fortfarande. (Därav vikten av utbildning av de som ansvarar och utför undervattensgjutningar.) Gjutningstekniken är en helt annan än som tillämpas i torrhet och man ser ingenting av det man håller på med. (Ofta anlitas dykare, men det kan vara grumligt och därmed svårt att se ordentligt i vattnet.) Under gjutningens gång kan felaktigheter uppträda som inte observeras och därför ej heller rättar till. Också möjligheten att i efterhand bedöma hur en gjutning utfallit och därigenom skaffa sig erfarenheter är, i jämförelse med gjutning i torrhet, i de flesta fall begränsad och osäker. Arbetsobjekten är ofta stora och så belägna att det kan bli mycket kostsamt att återställa en dåligt utförd gjutning i fullgott skick.¹

Under större delen av tiden fram till för ca. 20 år sedan har den s.k. Tremie-metoden varit helt dominerande. (Denna metod går ut på att betongmassa tillförs genom ett rör som hålls nedsänkt i tidigare placerad betongmassa.) Under senare decennier har betongpumpar kommit till allt större användning, så även för undervattensgjutningar. Vid undervattensgjutningar ska dock den vanliga betongpumpen kompletteras med en mynningsventil för att möjliggöra en styrning av betongflödet såtillvida att pumpröret kan fyllas med betongmassa innan det sänks på plats och gjutningen startar. Detta förhindrar att betongmassan störtar ut genom gjutröret i stor hastighet och vaskas ut på cement och finmaterial.²

Undervattensbetong tillhör utförandeklass I, vilket innebär höga krav på kompetens, kontroll, tillsyn samt jämnhet och noggrannhet i utförande.³

Undervattensbetong har under årens lopp utvecklats från en s.k. normal betong med trög konsistens till en mer lättarbetad betong med antiutvaskningsmedel (AUV-medel) och de senaste åren har betongen blivit allt mer lättflytande i och med den nya generationens flyttillsatsmedel. Detta ger två typer av undervattensbetong:

- Den traditionella utan andra tillsatser är flyttillsatsmedel och retarder. För att få betongen att fungera arbetar man endast med finmaterialhalten vid proportionering, d.v.s. cement och ballast. (Liknande självkompakterande betong, men där tillsätts oftast fillermaterial samt att helt andra konsistenser förekommer.) Denna typ av betong förekommer i stort sett aldrig idag då BRO 2002 kräver AUV-medel i betongen då statisk armering används samt där kylslingor behövs. Kylslingor används i stor sett alltid vid undervattensgjutningar då konstruktionerna är grova och cementhalten är hög vilket leder till stor värmeutveckling.

¹ Nygård J., Svensson-Ljungkrantz C., "Undervattensbetong – Undersökningar i fälmässig skala", R85:1984

² Hansson P., "Undervattensbetong och dess frostbeständighet", Vattenfall Utveckling AB 1995

³ Boverket, "BBK 94 – Betongkonstruktion", kapitel 8.5

- Den andra typen är den där AUV-medel tillsätts. Detta gör att betongen kan stå emot vattnet bättre vilket innebär att cementpastan inte vaskar ut lika lätt. Betongen med AUV-medel får även en bättre konsistens och man säkrar kvalitén på betongen som gjuts varvid statiskt armering och kylslingor omsluts på bästa sätt.

AUV-medlet har i sin tur lett till svårigheter att få en frostbeständig betong, vilket medfört vissa begränsningar i användandet. (Betonen kan ej gjas över frosthjitt djup.) Orsaken till att betongen med AUV-medel inte blir frostbeständig är troligtvis den ogynnsamma porstruktur som uppstår då man i samband med cellulosa även tillsätter skumdämpare. Istället för många små porer erhålls ett fåtal större.

För att finna en lösning med problemet att undervattensbetong inte är frostbeständig har nu vattenkraften genom Elforsk och Vägverket gått samman och finansierat ett projekt där undervattensbetong studerats närmare. Önskan är att finna metoder att kontrollera sin undervattensbetong, både med tanke på färsk och hårdnade egenskaper och därefter gå vidare med att försöka finna en lösning på frostbeständighetsproblemet. I begreppet metoder menas här provningsmetoder på färsk och hårdnad betong samt riktvärden på önskvärda resultat – detta ger beställarrepresentanterna ett instrument att säkra resultaten av sina undervattensgjutningar.

Undervattensbetong används framförallt vid nyproduktion av bro- och kajkonstruktioner och där bottenplattor och fundament för pelare gjuts under vatten. Här ställs höga krav på god arbetbarhet och kringgjutning av armering samt god nivellering. För att säkra dessa egenskaper har Vägverket preciserat i BRO 2002 vad som gäller vid undervattensgjutningar. Inom vattenkraften ser man att reparationsbehovet kommer att öka och där studier visar att undervattensbetong med antiutvaskningsmedel (AUV-medel) klarar BRO 2002's krav på vidhäftning för reparationer i torrhet⁴, vilket är en förutsättning för att få en samverkan med befintliga konstruktioner under vatten.

Vad gäller reparationsbehovet på våra betongkonstruktioner beräknas det öka i framtiden och därmed ökar ägarnas behov att kunna reparera sina konstruktioner på ett enkelt och rationellt sätt. Det finns i dagsläget många olika metoder, så som sprutbetong, injektering, lagningsbruk etc.. Undervattensbetong är i det sammanhanget ett bra alternativ när konstruktionsdelen som ska åtgärdas befinner sig under vatten. Vid användandet av denna metod krävs i dagsläget ingen större avsänkning av vattennivå, inget behov av kassuner som ska länsas etc.. Skulle betongen däremot vara frostbeständig kan gjutning fortgå över frosthjitt djup och därmed minskar kostnaderna ytterligare för den länsupumpning som ändå i dagsläget är nödvändig (gjuta i torrhet från den nivå där frostrisk föreligger).

⁴ Hansson P., "Undervattensbetongs vidhäftning till gammal betong", Elforsk rapport 95:5B, Stockholm 1995

1.1 Bakgrund

Projektet grundar sig på en önskan från de två finansiärerna. Båda vill ha en god kvalitetssäkring genom att kunna kontrollera den undervattensbetong som används. Vattenkraften vill kunna reparera sina betongkonstruktioner på ett lämpligt sätt utan att behöva sänka vattennivån i dammen eller bygga täta kassuner. Vägverket har en önskan att kunna gjuta med undervattensbetong vilken innehåller antiutvaskningsmedel (AUV-medel) utan att riskera frostsador i de fall undervattensbetongen når upp till icke frostfritt djup. Genom att ökad kunskap förväntas man sig kunna genomföra säkrare och rationellare gjutningar och reparationer.

Tidigare forskning (10 års perspektiv) på området har bl.a. genomförts av Vattenfall Utveckling AB genom framförallt två projekt. Det första var en studie av frostbeständigheten och om denna kunde förbättras genom att i undervattensbetong med AUV-medel tillsätta siliska samt sänka vattencementtalet (vct)⁵. Det andra var en litteraturstudie⁶ angående frostbeständighet för undervattensbetong. Korta sammanfattningar av projekten följer nedan:

- Det första projektet genomfördes 1995. Där undersöktes hur frostbeständigheten hos undervattensbetong med AUV-medel påverkas av tillsatser av silika och lägre vct.

AUV-betongens frostbeständighet provades genom att mäta avflagning, enligt SS 13 72 44 samt genom okulärbesiktning av provkroppar som nedsänkts helt i vatten, inre frostbeständighet. Gemensamt för båda provningsmetoderna var att provkropparna inte tilläts torka ut innan provning. Det sistnämnda leder till en försämrad frostresistensen.

Tre olika vbt (vatten-bindemedel) användes, vikt vatten /vikt (cement + silika), 0,45, 0,43 samt 0,42.

Resultatet blev att en generell tendens till förbättring av frostbeständigheten kunde ses, dock inte till den nivå att betongen kan räknas som frostbeständig enligt standard. Ett mer positivt resultat är att den bästa sammansättningen, vbt 0,42, med silika inte började påvisa skador förrän efter 63 frys cykler vid den okulära besiktningen.

Diskussionen ledde till slutsatsen att bättre frostbeständighet skulle kunna påvisas med en rättvisare provningsmetod och bättre proportionering och eventuellt med längre härdningstid.

- En litteraturstudie utfördes 1999. Den behandlar olika användningsområden för AUV-medel, vissa materialmässiga aspekter på undervattensbetong samt ger en allmän genomgång av fuktutsatt betongs frostresistens. Tyngdpunkten i rapporten

⁵ Hansson P., "Frostbeständighet hos undervattensbetong", Vattenfall Utveckling AB, 1995

⁶ Bernstone C., "Antiutvaskningsmedels inflytande på undervattensgjuten betongs frostbeständighet – en litteraturstudie", Elforsk 00:19, 2000

ligger emellertid i en genomgång av undersökningar där frostbeständigheten för betong med antiurvaskningsmedel har testats. Det har dock visat sig att det endast finns ett fåtal undersökningar redovisade i litteraturen.

De första undersökningarna som genomfördes motiverades av ett allmänt dåligt kunskapsläge. De resultat som erhöles var emellertid inte tillfredställande, varför nya undersökningar genomfördes i syfte att komma tillrätta med vissa motsägelsefulla uppgifter. I dagsläget visar de bästa resultaten som erhållits att god frostbeständighet kan uppnås vid provning med rent vatten. Detta har fått till följd att man på vissa håll nu anser att det går bra att använda undervattensbetong vid frostbelastning. I Kanada har således en reparationsgjutning med undervattenbetong utförts på en skadad slusskonstruktion med, som det ser ut från den rapportering som finns tillgänglig, lyckat resultat. Den undervattenbetong som användes tillverkades med tillsats av AUV-medel.

Förutom de resultat som finns vad gäller frostbeständighet så framgår det av litteraturgenomgången att AUV-medel ger betongen goda egenskaper i form av god hållfasthet, god vidhäftning mot motgjuten betong samt goda möjligheter att kringgjuta armering.

Rapporten avslutas med en diskussion om de faktorer som påverkar undervattensbetongs frostbeständighet.

1.2 Syfte/Mål

Syftet/mål med projektet är att ge ägarrepresentanterna verktyg att kontrollera den undervattensbetong som levereras dem alt. erbjuds dem. Verktygen ger även ett underlag för provningsprogram i forskningssyfte för att leda utvecklingen vidare inom undervattensbetongområdet. Mer konkret innebär detta lämpligare provningsmetoder som mäter undervattensbetongs egenskaper, både i färskt och hårdnat tillstånd. Dessa provningsmetoder kopplas sedan till rekommenderade mätresultat.

Ytterligare ett syfte/mål har varit att se över AUV-medlens inverkan på frostbeständigheten och hur god frostbeständighet kan erhållas när denna produkt inkluderas.

1.3 Metod

Projektet har genomförts enligt följande:

- Litteraturstudie inom ämnena provningsmetoder – färsk och hårdnad betong, tidigare forskning kring frostbeständig undervattensbetong med AUV-medel, samt erfarenheter av reparationer utförda med undervattensbetong⁷.

⁷ Litteraturen har funnits hos Vattenfall Utveckling AB samt erhållits vid databassökningar.

- ❑ Diskussioner har förts med ägarerepresentanter, entreprenörer, materialtillverkare, betongtillverkare. (Detta har bl.a. gjorts genom den workshop som hölls vid Vattenfall Utveckling AB i januari 2000.)
- ❑ Försök i betonglaboratoriet.
- ❑ Utvärdering och sammanställning.

1.4 Begränsningar

- ❑ Projektet behandlar inte självkompakterande betong under vatten då detta behandlas i ett projekt vid Lunds Tekniska Högskola, se projektbeskrivning i Bilaga A.
- ❑ Viss omprioritering har skett under projektets gång då de ekonomiska medlen varit knappa.
- ❑ Vissa provningsmetoder har inte varit tillräckligt specificerade i litteraturen utan egen utformning och tillverkning har skett. Detta kan bidra till skillnader i resultat vid jämförelser med internationella resultat.
- ❑ Krav på betongegenskaper vid gjutning av en grov konstruktion, framförallt nyproduktion, kan skilja sig från de krav på egenskaper som en mindre reparation kräver. Detta projekt har inte studerat den ena eller andra typen av gjutning speciellt.
- ❑ Inga miljöaspekter har studerats för olika typer av tillsatsmedel och torde inte ha någon större relevans för resultaten.

1.5 Genomförande

Det bästa resultatet av projektet ansågs erhållas om en dialog med de involverade parterna på den aktuella marknaden skapades. Därför startade projektarbetet med en workshop. Därefter följde den övergripande projektplaneringen vilken sedan huvudsakligen kunnat följas. Det som lämnats hän är arbetet med den självkompakterande betongen, som utförs vid Lunds Tekniska Högskola och där Bertil Persson är kontaktperson. Det som tillkommit är den resa som genomfördes till Kanada år 2000 där diskussioner fördes med professor Kamal Khayat, som är ledande inom områdena undervattensbetong och självkompakterandebetong.

Projektet koncentrerade sig i första hand på att finna lämpliga metoder att mäta de färska egenskaperna och därefter metoder för att kontrollera de hårdnande. Vad gäller det sistnämnda så är det med tyngdpunkt på frostbeständigheten. (När väl provningsmetoder och provningsprogram är framtaget finns grunden för all fortsatt forskning inom området.) Sist har projektet riktat in sig på att finna lämpliga vägar att lösa problemet med frostbeständigheten och då främst genom att titta på olika betongsammansättningar och tillsättning av luftporbildare.

2 Workshop

Den 11/1-2000 arrangerades en workshop i ämnet undervattensbetong. Workshopens syfte var att inleda detta undervattensbetongprojekt genom att skapa en dialog och diskutera ett antal frågor inom området med dem som arbetar praktiskt med undervattensbetong och de som beställer sådan. Workshopen resulterade bl.a. i en rapport⁸ och en kortare sammanfattning görs nedan.

Diskussionerna som fördes under dagen behandlade ett antal olika ämnen inom området undervattensbetong och följande slutsatser kunde dras:

1. Tillsatsmedelstillverkningen resulterar numera (i de flesta fall) i tillsatsmedel med jämn och god kvalitet.
2. Frostbeständigheten hos undervattensbetong med AUV-medel är viktigt och är en egenskap som man bör arbeta vidare med.
3. Metoden för att prova frostbeständigheten hos undervattensbetongen bör vara enkel samt innehålla provning i både söt- och saltvatten.
4. Dagens normer i BRO 2002 anses påverka utvecklingen av undervattensbetong med AUV-medel med tanke på sin omfattning (kostsam) och den begränsade mängden undervattensgjutningar som faktiskt genomförs. Nya AUV-medel och andra doseringar provas inte eftersom det är svårt att få igen pengarna på utförda gjutningar.
5. Ett alternativ till traditionell undervattensbetong och undervattensbetong med AUV-medel kan vara modifiering av självkompakterande betong (SKB / SCC).
6. Det förekommer en del andra problem med undervattensbetong med AUV-medel förutom dålig frostbeständighet. Detta är bl.a. sämre pumpbarhet vid höga doseringar av AUV-medel, problem med tillsättningen av medlet i betongen samt att AUV-medlet har en retarderande effekt. (Det sistnämnda torde dock anses som positivt.)
7. En fungerande metod för mottagningskontroll av den färska betongen bör tas fram.
8. Det gjuts i dagsläget inte så mycket undervattensbetong per år i Sverige.
9. En allmän kommentar var att forskning och utveckling inom betongområdet är viktigt och det är av vikt att på lämpligt sätt informera myndigheter (beställare) om detta och varför forskning bör ske.
10. Det finns ett utbildningsbehov för undervattensgjutningar bland både betongtillverkare och entreprenörer.

⁸ Björkenstam E., "Workshop – undervattensbetong", US 00:05, Vattenfall Utveckling AB 2000

3 Projektplan

Efter workshopen tog projektplanen sin form och där de synpunkter som kommit fram under workshopen var vägledande för projektets utformning utan att för den skull ändra slutmålet. Stor inverkan hade även den litteraturstudie som Vattenfall Utveckling AB utförde 1999⁹.

Projektplanen redovisas i **tabell 3.1**:

Tabell 3.1. Projektplan för undervattensbetongprojektet.

	Delmål	Syfte	Mål
1	Workshop	Diskutera med de parter som arbetar med undervattensbetong.	Skapa ett kontaktnät samt underlag för projektplan.
2	Litteraturstudie på arbetbarhet och provningsmetoder på den färska betongen. Titta på vilka metoder som används idag, välja ut lämpliga för projektet.	Se vilka metoder som används och vilka som är internationellt erkända.	Ta fram ett antal metoder som är lämpliga att använda såväl i laboratoriemiljö som i fält.
3	Studie av tidigare utförda försök	Ta lärdom av andras erfarenheter.	Genomföra relevanta försök.
4	Sammanställning av tidigare utförda gjutningar enligt VV publ. 2002:50 (Antiutvaskningsmedel – krav vid provning av antiutvaskningsmedel).	Önskemål från de i branschen att se över provningen.	Jämföra resultat av försöken samt se om det finns andra sätt att prova på – enklare.
5	Kort sammanställning av rekommendationer för reparationer med undervattensbetong.	Se över erfarenheterna och dra lärdom.	Sammanställa erfarenhet som kan tillgodogöras av andra.
6	Jämföra självkompakterande betong (SKB) med undervattensbetong med AUV-medel.	Diskussionen kom upp under workshopen om det inte är möjligt att endast använda sig av SKB för undervattensgjutningar.	Besvara frågan: kan SKB användas för att gjuta under vatten och vilka resultat ger detta?
7	Diskutera vilka provningsmetoder som ska ingå vid försök. Speciellt gäller detta frostprovning.	Provningsprogrammet ska vara relevant och ett begränsat antal provningar kan göras med tanke på tid och kostnader.	Provningsprogram som kan hänvisas till av beställare samt forskare.
8	Ta fram provningsprogram inför försök.	Se vilka försök som ska genomföras och vilka betongsammansättningar som ska provas.	Tabeller på önskvärda egenskaper, tillhörande provningsmetoder.
9	Genomförande av försök.	Hur olika sammansättningar påverkar egenskaperna samt provningsmetodernas relevans.	Tabeller med riktvärden på provningsresultat.
10	Rapportskrivning, samt framtagande av presentationsmaterial.	Delge och leverera resultat.	Färdig rapport och muntlig presentation.

⁹ Bernstone C., Antiutvaskningsmedels inflytande på undervattensgjuten betongs frostbeständighet – en litteraturstudie, Elforsk 00:19, 2000

4 Resa till Kanada

Den 25 till den 29 oktober genomförde Emma Björkenstam, Vattenfall Utveckling AB och Pereric Westergren, Vägverket, en resa till Montreal, Kanada.

De som besöktes var Mr Kamal Kahyat från Université de Sherbrooke, Mr Daniel Venzina från Ministry of Transport, Quebec, samt Mr Kaveh Saleh från IREQ, Hydro Québec, Montreal.

Syfte och mål var att ha ett kunskapsutbyte inom området undervattensbetong och diskutera problematiken med undervattensbetongens frostbeständighet i kombination med antiutvaskningsmedel.

Resultatet av besöket var framförallt rekommendationer om provningsmetoder för de färska och hårdnade egenskaperna. Dessutom erhöles rekommendationer om blandningsordning och vilken typ av sammansättning som med störst sannolikhet kan bli frostbeständig, men ändå bibehålla goda gjutegenskaper.

Blandningsordningen är mycket viktig och där AUV-medel och luftporbildare ingår rekommenderades följande:

- ❑ Ballast och cement samt AUV-medel utblandat med lite cement, allt blandas väl. Ev. tillsatsmaterial ska också tillsättas här.
- ❑ Därefter tillsätts vatten och flyttillsatsmedel.
- ❑ Sist tillsätts luftporbildaren, eftersom det bästa är att tillsätta luft till betongen för god frostbeständighet, och låta det hela blandas i ca. 5 minuter.

Vid diskussion visade det sig att Kanadensarna har helt andra krav på gjutbarhet och konsistens än vad vi i Sverige har (främst via krav från Vägverket). Detta kan göra det svårt att helt använda sig utav deras resultat. De har betong med sättmått från 200 till 230 mm i de flesta fall och där god inre frostbeständighet uppnåtts för betong med vct 0,45 till 0,49 och mycket god inre frostbeständighet för betong med vct 0,32-0,40. Vad gäller saltavskalning var resultaten sämre. Dock förekommer även högre sättmått, men där har inte frostbeständighet kunnat erhållas, efter vad som kan tolkas av litteraturen¹⁰.

Dock får syfte och mål anses som uppfyllt då god kontakt etablerades med besökta personer och intresse för projektet visades. Den samlade reseskildringen går att finna i den rapport som skrevs efter besöket¹¹.

¹⁰ Khayat K.H., "Frost Durability of Concrete Containing Viscosity-Modifying Admixtures", ACI Materials Journal Nov.-Dec. 1995, p632

¹¹ Björkenstam E., "Besök i Kanada för projektet undervattensbetongs räkning", US 00:42, Vattenfall Utveckling AB, 2000.

5 Sammanställning av tidigare utförda fullskaleförsök – enligt Vägverkets riktlinjer

Innan kravet i BRO 94 specificerades för förprovning av undervattensbetong med AUV-medel genomfördes ändå försök på liknande sätt på begäran av Vägverket. 1993 fick Vattenfall Utveckling AB i uppdrag av Vägverket att specificera Vägverkets krav som därefter lades in i BRO 94 (d.v.s. uppdraget bestod mestadels av att skriva rent och sammanställa utifrån de försök som bekostats och genomförts av Vägverket).

Idag kräver Vägverket att man inför varje gjutning med undervattensbetong där AUV-medel används ska visa att ett fullskaleprov enligt BRO 94, numera BRO 2002¹², är genomfört med godkänt resultat och där tillsatsmedlet är verifierat, där verifikatet ej får vara äldre än 4 år. Vid dessa försök ska man använda samma typ och doseringar av tillsatsmedel som man sedan ska använda vid gjutning i fält.

Fullskaleprovet redovisas inte i sin helhet i denna rapport utan läsaren hänvisas till VV Publ. 2002:50. Men i korthet går det till så att utifrån en bestämd ballastkurva (bl.a. 32 stenmax) sätts betongen samman och gjutning utförs i två former. Den ena är 2 (längd) x 1 (bredd) x 1 (höjd) m och där armeringbarriärer finns på två ställen. Kontroll sker sedan av hur väl betongen omslutit armeringen samt att kontroll sker av hållfasthet, separation samt slamskikt och självnivellering. Den andra formen är 4 (längd) x 0,5 (bredd) x ca. 1 (höjd) m och där kontroll sker av självnivellering. Blandningsförfarande noteras och betongen provas fram till 90 dygns ålder.

Det som i övrigt nämns i BRO 2002 rörande undervattensbetong är:

- ☐ Undervattensgjutning tillåts endast då så är angivet på arbetsritningen
- ☐ Dimensioneringsvärden som gäller för hållfasthetsklass C20/25 ska tillämpas
- ☐ Gjutning får endast utföras under ledning av en person som genomgått utbildning enligt plan¹³, detsamma gäller provtagare och operatörer
- ☐ Tjocklek ska vara minst 1 m
- ☐ Bottenplattan ska påvisas vara osprucken
- ☐ Horisontella gjutfogar godtas inte
- ☐ Roterbil ska användas vid leverans av betong
- ☐ Betongen ska vara certifierad
- ☐ Lägst hållfasthetsklass är C28/35
- ☐ Cementhalten ska vara minst 350 kg/m³
- ☐ Finmaterialhalten (< 0,25 mm) ska vara större än 8%
- ☐ Betong utan AUV-medel ska ha ett sättmått över 120 mm (ska kunna ha goda gjutegenskaper och utan svårighet passera genom gjutrör och fylla ut formen)
- ☐ Retarder ska ingå och tillstyvnadstid kontrolleras

¹² Vägverket, Bro 2002 Del 4, Betongkonstruktioner, kapitel 46, 2002

¹³ VV Publ. 2002:51

- ❑ Icke frostbeständig undervattensbetong godtas
- ❑ AUV-medel ska användas där statistiskt verksam armering läggs in och medlet ska provas enligt VV Publ. 2002:50

Dessutom förekommer riktlinjer för armering, utförande samt kontroll.

5.1 Sammanställning av genomförda försök

I Bilaga C har en sammanställning utförts över utförda fullskaleförsök, vilka genomförts under årens lopp. Där anges även om resultaten är godkända eller inte.

6 Reparationer under vatten

Det som funnits om reparationer under vatten i sökt litteratur är inte mycket, det är mest nyproduktion som beskrivs. Nedan följer dock en kortare sammanställning av vad som finns att tillgå av rekommendationer och erfarenheter.

Norsk Betong Forening har skrivit i en Bilaga till sin publikation nr 5¹⁴ om reparationer under vatten. Här beskrivs hur gjutskador på nya konstruktioner kan åtgärdas. Det som nämns om reparation av gamla konstruktioner är att de skiljer sig något ifrån det beskrivna förfaringssättet då bl.a. en tillståndsbedömning och utredning om skadeorsak, belastningsberäkningar etc. måste genomföras.

Gjutfel som kan uppstå vid nyproduktion är reducerat täckskikt, otäta formar, större slamskikt etc.

Rapporten behandlar bl.a. följande:

- Rengöring – möjliga metoder är mejsling, vattenbilning, sandblästring
- Reparationsbehov – små skador, vilka kan lämnas oreparerade eller åtgärdas på enklare sätt. Större skador kräver kraftigare åtgärder.
- Reparationsmetoder – mindre lagning på skadan, gjuta på nytt utanför – runt hela.
- Material – Materialet som användas bör vara betong med AUV-medel, allt för att säkra god vidhäftning.

A. McLeish¹⁵ beskriver en del om reparationer under vatten där han tar upp följande delar, med fokus på mindre reparationer:

- Metoder för att komma åt konstruktionen som ska åtgärdas – kan ske på fyra olika sätt; kassun, barriärer, trycksatt inklädnad (torrt) samt våt inklädnad.
- Metoder för att förbereda och ta bort skadad betong och armering – här påpekas det viktiga i att ha en ren yta för att erhålla god vidhäftning
- Sammansättning av reparationsmaterial – två typer, cementbaserat innehållande AUV-medel eller epoxibaserat
- Olika reparationstekniker – pågjutningar i skvalpzon, sprutbetong med kraftig accelerator i skalpzon, större reparationer över stora ytor, betonginjektering, pumpning, injektering av sprickor, stålinklädnader etc.
- Förstärkning och förspänd armering – kapning, rengöring, byta ut armering, förspänd armering etc.

Det nämns inget i denna litteratur om undervattensbetong innehållande AUV-medel och dess frostbeständighet. Det som sägs om betong under vatten och frostbeständighet är:

¹⁴ Norsk Betongforenings Publikasjon nr 5, "Prosjektering og utførelse av betongkonstrkjoner i vann" Bilaga C, 1994

¹⁵ McLeish A., "Underwater concreting and repair", kapitel 5, 1994

- ❑ Det är mycket svårare att få en frostbeständig betong då den inte får möjlighet att torka ut.
- ❑ Det är viktigt att ha hög cementhalt och låga vct.
- ❑ Inblandning av silika ger en porstruktur som är gynnsam samt att mängden frysbart vatten i betongen är minimal. Dock förekommer inte detta i en tidig ålder varvid gjutning bör ske under våren.

Ett pågående projekt som behandlar reparationer av undervattenskonstruktioner är med självkompakterande betong under vatten, vilket beskrivs närmare i kapitel 7.

7 Jämförelse – Självkompakterandebetong och undervattensbetong

Eftersom en diskussion kom upp under workshopen i januari 2000 där vissa ansåg att undervattensbetong med AUV-medel kommer att försvinna och ersättas med självkompakterande betong, görs en jämförelse mellan de två betongtyperna. Andra som deltog under workshopen ansåg att självkompakterande betong inte är lämpad att använda vid undervattensgjutningar. I och med denna jämförelse hoppas man att få klarhet i frågan.

Det som främst skiljer undervattensbetong och självkompakterande betong i dagsläget är det AUV-medel som finns i undervattensbetong och kalkfiller samt luftporbildare som finns i självkompakterande betong. Vanligtvis är även självkompakterande betong mer lättflytande och har större utbredningsmått. En jämförelse mellan en traditionell undervattensbetong och en självkompakterande betong finns i **tabell 7.1**.

Tabell 7.1.

Delmaterial	Undervattensbetong	Självkompakterande betong
Cement	350-400 kg/m ³	Ca. 380 kg/m ³
Ballast	0-16 (25)	0-8 (16)
Tillsatsmaterial	Silika	Kalkfiller, silika
Tillsatsmedel	Flyttillsatsmedel, AUV-medel, retarder	Flyttillsatsmedel, luftporbildare
Vct	Ca. 0,5	Ca. 0,4
Sättningsmått	230-270 mm	270 mm
Utbredningsmått via sättningsmått	550 mm	700 mm

Vid de försök som utförts inom ramen för detta projekt blandades en självkompakterande betong med en något styvare sammansättning. Denna betong visade sig vaska ut mer än en betong med AUV-medel, dock avtog denna utvaskning om betongen fick stå och vila en viss tid, vilket i sin tur påverkar konsistensen.

Som tidigare nämnts pågår ett projekt vid Lund Tekniska Högskola (LTH), projektbeskrivning i Bilaga A, där en studie genomförs på självkompakterande betong under vatten med fokus på reparation (mindre pågjutningar) och beständigheten. Kontaktperson till projektet är Bertil Persson.

Det som ska provas vid LTH är främst den inre frostbeständigheten och saltavflagning där alla provkroppar omges helt av vatten på alla sidor. D.v.s. en tuff provning som även beskrivs i **tabell 9.1**. Det som ska provas är självkompakterande betong med vct 0,35, 0,4 och 0,5 där lufthalten varierar från 0 till 8%. Provningsprogrammet skiljer sig en del från det som använts inom undervattensbetongprojektet, speciellt vad gäller de färska egenskaperna. Tanken från början att utvaskning även skulle kontrolleras vid detta

projektet, men här har andra provningsmetoder använts vilka är mer relaterade till egenskaper hos en vanligt använd självkompakterande betong. Därav är det svårt att säga i dagsläget om betongen ifråga är helt lämpad att gjuta under vatten, fler studier måste till. Det ska dock påpekas att projektet inte är avslutat och kommer först att redovisas i sin helhet till våren.

De resultat som erhållits från projektet vid LTH när denna rapport färdigställs är följande:

Prover från VUAB som skickats till LTH visar på att normal undervattensbetong (utan AUV-medel) och undervattensbetong med AUV-medel fryser sönder då ingen extra luft tillsatts, men med naturliga lufthalter runt 4%. Då luft tillsätts undervattensbetong med AUV-medel ökar frostbeständigheten märkbart. Självkompakterande betong med god frostbeständighet.

8 Studie av den färska betongens egenskaper

Undervattensbetong har introducerats i specialbetongens fack på arbetsplatserna. (Därav har Vägverket krav på utbildning av ansvariga, operatörer och provtagare vid undervattensgjutningar¹⁶.) Den färska undervattensbetongen uppför sig inte på samma sätt som vanlig betong. Det är därför av stor vikt att försäkra sig om att betongen beter sig som tänkt i färskt tillstånd inför gjutning. Många provningsmetoder är inte lämpade för ett så visköst material¹⁷.

Den färska undervattensbetongen måste uppfylla en hel del krav beträffande egenskaper som arbetbarhet, pumpbarhet, utvaskningsbeständig, självnivellering och homogenitet. I dagsläget kontrolleras detta hos Vägverket genom att ett stort fullskaleförsök genomförs, vilket presenterades närmare i **kapitel 5**.

En önskan från ägarsidan är att detta även ska kunna kontrolleras på ett enklare sätt vid t.ex. mottagningskontroll alt. vid förprovning vid betongfabrik. Sådana metoder är även av vikt vid detta projekts laboratorieförsök. Därför genomfördes en inledande studie där metoder för att kontrollera de färska egenskaperna utvärderades. Först krävdes en mindre litteraturstudie och sammanställning av de olika metoderna. Därefter utfördes själva provningen med ett urval av dessa metoder.

De metoder som används idag är framförallt sättmått och utbredningsmått vid kontroll i betongfabrik medan man internationellt även använder sig av metoder för att kontrollera utvaskningen och flytförmågan. Behovet finns att även nationellt fastlägga metoder för detta.

8.1 Utvaskning och arbetbarhet

Vid en litteraturstudie av vilka metoder som finns att tillgå på marknaden visar det sig att det finns ett flertal som kan vara användbara. Metoderna beskrivs närmare i **kapitel 8.1.1**.

Undervattensbetongs arbetbarhet, baseras på betongens reologiska egenskaper, och nedan redovisas ett antal sådana metoder. Med reologi menas all deformation av ett material som uppstår då det utsätts för krafter. Reologin innefattar sambanden mellan kraft, deformation och tid. Konkret innebär det att kontroll av de reologiska egenskaperna sker på så vis att man på ett kontrollerat sätt deformerar betongen och samtidigt mäter hur betongen reagerar på deformationen.¹⁸

¹⁶ Vägverket, VV Oubl. 2002:51, "Utbildningsplan – Undervattensgjutning av betong", 2002

¹⁷ Bartos PJM., Ceza M., "Assessment of washout resistance of a fresh concrete by the MC-a test", 1996

¹⁸ Sahlström A., "Grundkurs i reologi – kapitel 2 - Inledning till reologibegreppet", Calmia, 1995

8.1.1 Utvaskningstest

Vid utvaskning mäts betongens förmåga att motstå urtvättning av finmaterial vid kontakt med vatten. Vid utvaskning blir betongen otät, får låg hållfasthet och man kan få skiktningar i betongen om den blir inhomogen.

Stream test¹⁹

Den här provningen togs fram i Belgien. Det är ett enkelt test som ger en visuell uppskattning av utvaskningsresistens. Testet kan användas så väl i laboratorium som ute i fält, se **figur 8.1**.

Vid utförandet av provet används en 100-150 mm bred ränna som är 2 m lång med en lutning på 15-20°. Ett prov med betong placeras 300 mm från övre kanten av rännan. Därefter hålls vatten ner för rännan och över betongprovet. Mängden utvaskad betong bestäms visuellt.

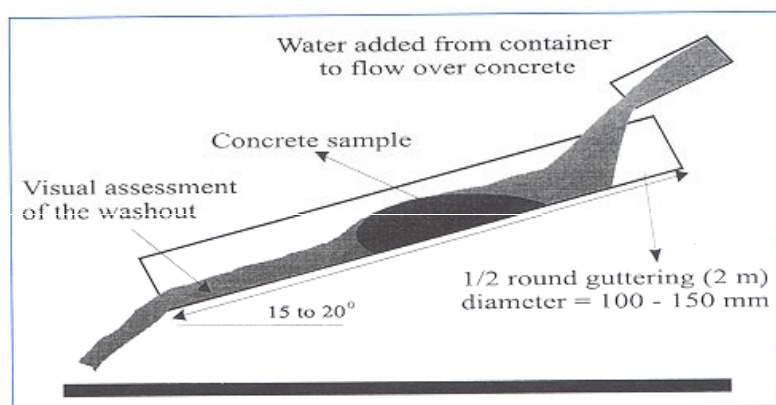


Fig. 1 – Stream test.

Figur 8.1. Stream test.

Provet är lätt att genomföra men resultatet är svårt att kvantifiera. Detta beror på att operatören har stora möjligheter att påverka och den är han/hon som tolkar resultatet. Dessutom beror resultatet på vilken hastighet vatten tillförs, d.v.s. hur snabbt det hålls på betongprovet. Naturligtvis sker en större utvaskning ju fortare vattnet hålls på. Operatören måste därmed ha en stor erfarenhet på området för att kunna tolka resultaten rätt. Det är mycket viktigt att samma mängd vatten hålls i rännan vid samma ställe för varje utförd test.

¹⁹ Bartos PMJ., Khayat KH., Sonebi M., "Assessment of washout resistance of underwater concrete: A comparison between CRD C61 and new MC-1 tests", Materials and structures vol 32, may 1999 p 273-281

Drop test - Skopa i vatten testet²⁰

Den enkla utrustningen är en vattenfylld cylinder där en skopa (300-500 g) betong hålls ner i kärlet. Därefter utläses utvaskningen genom att visuellt bedöma detta utifrån vattnets grumlighet. Det är ett snabbt, kvalitativt och enkelt test som kan användas i laboratoriet. Istället för det visuella bedömningen av grumligheten kan urvaskningen bedömas genom att mäta den med en spektrometer eller med liknande utrustning.

pH factor test - pH test²¹

Denna metod föreslås i rekommendationer för utvaskningsresistens för undervattensbetong i Japan.

Vid provning låter man färsk betong droppa ner i en bägare fylld med vatten. Efter tre minuter överförs en del av vattnet över till en annan bägare varefter vattnets pH mäts. PH för det aktuella provet avrundas till en decimal. Ju högre pH desto större utvaskning.

Plunge test, CRD-C61²²

Provningsmetoden är troligen framtagen i Belgien där den använts vid Universitetet i Ghent och är den vanligaste provningsmetoden vad gäller utvaskning, se **figur 8.2**.

Ursprungligen användes en liten korg med relativt liten diameter på hålen (3 mm) och som fylld med betong sänks ned 3 ggr. Kontroll mätning av uppmätt mängd görs före nedsänkning i vattnet efter de 3 nedsänkningarna kontrolleras vikten igen. Viktförlusten beräknas i procent. Detta ger ett kvantitativt värde på testvärdena.

Provningsmetoden togs upp av USA:s ingenjörsförbund och inlagd i deras standard CRD C61.

Utförda försök vid Fosroc Technology och vid Universitetet i Paisley visade att det gick att få bra värden på utvaskningsresistens eftersom ballast i provet blockerade hålen i korgen. Provningsmetoden modifierades genom att en större korg med större hål (20 mm) användes. Antalet nedsänkningar ökades från tre till fem gånger. Dessvärre dök ett annat problem upp när lättflytande betong, liknande den undervattensbetong som används vid undervattensgjutning, användes. Denna betong passerade delvis genom maskorna i korgen redan innan den sänkts ned i vatten.

²⁰ Bartos PMJ., Khayat KH., Sonebi M., "Assessment of washout resistance of underwater concrete: A comparison between CRD C61 and new MC-1 tests", Materials and structures vol 32, may 1999 p 273-281

²¹ Dito

²² Dito and Bartos PJM., Ceza M., "Assessment of washout resistance of a fresh concrete by the MC-a test", 1996



Fig. 2 – Plunge test (CRD C61).

Figur 8.2. Plunge test CRD-61

Spray test, MC-1²³

Den nya apparatur, MC-1, vilken är utvecklad av Ceza & Bartos, är baserad på principen att direkt kunna avläsa utvaskningsresistensen genom kvantitativa mätresultat, se **figur 8.3**. Mängden betong är uppmätt innan den placeras i mätriggen i vilken utvaskning sker med vatten.

Metoden är enkel. En form placeras på en basplatta och fylls med ca. 1 kg betong. Formen lyfts och plattan med betongen placeras på en rigg med elektrisk våg. En dator är kopplad till vågen och registrerar kontinuerligt viktnedgången på vågen när vatten vaskar ur provet. Mätningen startar automatiskt när kranen till vattentanken öppnas och vatten sprutas in i riggen. Provet pågår i fyra minuter. Ett konstant tryck hålls i vattentanken så att samma tryck hålls under hela provförloppet. Vid mätningen kompenseras för det utströmmande vattnets tryck.

Resultatet redovisas som kurvor som anger ändringen i massa under testets gång samt att en procentsats anges för mängden förlorad betong i förhållande till den ursprungliga mängden.

²³ Bartos PMJ., Khayat KH., Sonebi M., "Assessment of washout resistance of underwater concrete: A comparison between CRD C61 and new MC-1 tests", Materials and structures vol 32, may 1999 p 273-281 and Bartos PJM., Ceza M., "Assessment of washout resistance of a fresh concrete by the MC-a test", 1996

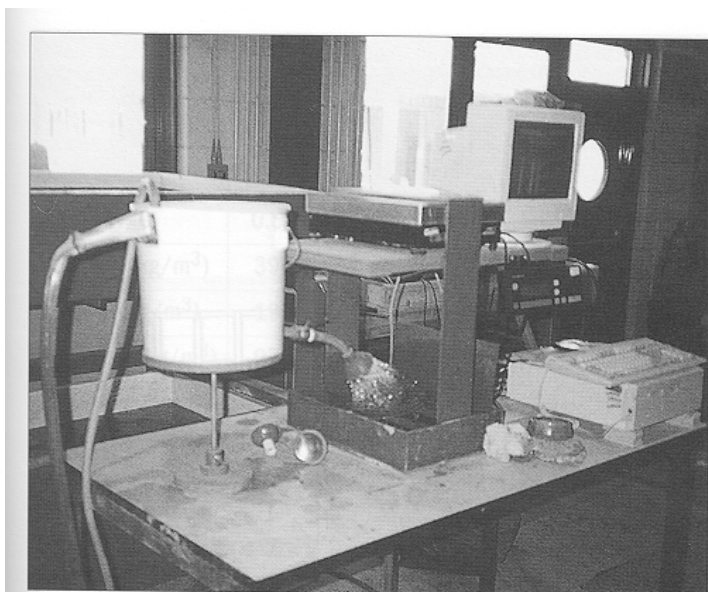
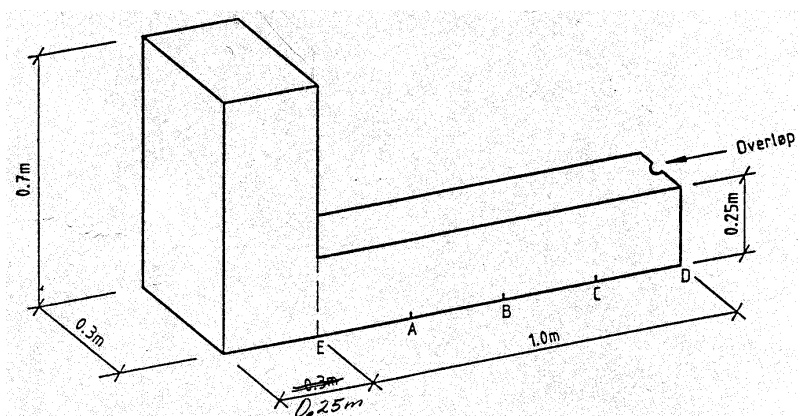


Fig. 3 – MC-1 apparatus.

Figur 8.3. Spray Test, MC-1.

T-concrete Testing Equipment - Modifierad L-låda²⁴

I Norsk Betongforenings Publikasjon nr 5 presenteras en metod där en modifierad L-låda används enligt figur 8.4. En liknande metod används för utvärdering av självkompakterande betong.



Figur 8.4. Modifierad L-låda.

Mellan den höga och den låga delen av lådan finns en lucka som kan lyftas. Betongen fylls utan någon komprimering i den höga delen av lådan. Volymen är ca. 53 liter. Vatten fylls i den låga delen. 15 minuter efter att betongen börjat fyllas i den höga delen lyftes luckan mellan den höga och låga delen 150 mm och betongen får flyta fritt i vatten.

²⁴ Norsk Betongforenings Publikasjon nr 5, "Prosjektering og utførelse av betongkonstruksjoner i vann", 1994

Utvaskningen kontrolleras genom att mäta koncentrationen av hydroxid joner i vattnet eller genom att mäta vattnets elektriska konduktiviteten.

Efter att betongen har hårdnat kan prover utböras från området vid den högre delen och från området mellan C och D. Detta för att kontrollera densitet, tryckhållfasthet och eventuell separation.

Denna L-lådan används idag av Rescon vid deras utveckling och provtagning av AUV-medel.

8.1.2 Arbetbarhet

Med arbetbarhet menas betongens förmåga att röra sig, med andra ord reologi.

Sättnått²⁵

Sättnåttet är det vanligaste sättet att prova den färska betongens arbetbarhet och används i hela världen, se **figur 8.5**. Dock är provningsmetoden begränsad, enligt P.J. Bartos, eftersom den inte riktigt är anpassad till betong med högre sättnått än 150 mm. Resultat över 200 mm anses här vara meningslösa. Sättnåttet är inte lämpligt varken för undervattensbetong med mycket hög arbetbarhet eller för viskösa material.



Figur 8.5. Sättnått på undervattensbetong.

Dock används det frekvent och där det går till på följande sätt:

Betong placeras i konen i tre lager med 25 stötar i varje lager. Konen lyfts rakt upp och när betongen stannar mäts måttet mellan konen och högsta punkten på provet. Mått i mm.

I den litteratur som studerats anges sättnått för undervattensbetong enligt **tabell 8.1**.

²⁵ Bartos P.J., "Assessment of properties of underwater concrete by the orimet test, Special concretes – workability and mixing", 1990 and Norsk Betongforenings Publikasjon nr 5, "Prosjektering og utførelse av betongkonstruksjoner i vann", 1994

Tabell 8.1. Sättningsmått för undervattensbetong i studerad litteratur.

Sättningsmått:	Norsk Betongforening ²⁶	Vägverkets BRO 2002 ²⁷	Betonghandboken ²⁸	Fältet
Utan AUV-medel	200-240 mm	120 mm < x < 180 mm	150 mm	-
Med AUV-medel	230-270 mm	Dokumenteras vid fullskaleförsök	220-230 mm	240-270 mm

Utbredningsmått²⁹

Utbredningsmåttet utvecklades i Tyskland under 80-talet och går till på följande sätt:

Betong placeras i aktuell kon i två lager med 10 stötar per lager. Därefter lyfts konen och tillhörande underrede lyfts försiktigt och släpps 15 ggr. Utbredning mäts av ett medel av två diagonaler. Mått i mm.

Provet på utbredning används frekvent vid tillverkning och kontroll av betong med superplasticerare i, vilka förväntas ha en utbredning på 500-600 mm. När det används för färsk undervattensbetong visar inte resultaten tydligt den seghet som den typ av betong har. Det kan ta hela 10 minuter innan betongen slutat rinna och slutgiltigt mått erhålls.

För betong som är självnivellerande används inte traditionell utbredningsmått utan man mäter utbredningen på utfört sättningsmått. Exempel på detta är vid provning av självkompakterande betong.

T-concrete Testing Equipment - Modifierad L-låda³⁰

Den modifierade L-lådan beskrivs närmare under provningsmetoder för utvaskning, men lådan används även för kontroll av arbetbarhet och detta görs enligt följande:

Tiden till dess att betongen kommit fram till punkterna A, B, C och D registreras. De gånger betongen inte når fram till punkt D registreras utflytningslängden. I andra fall registreras höjden av betongen vid punkt A t.o.m. D, när betongen slutat att flyta helt. På detta sätt mäts arbetbarheten

Erfarenheterna med metoden är kortfattat:

En betong med god utflyt uppnår en höjd vid punkt D i storleksordningen 90-110 mm, och når fram till punkt D inom loppet av 10-90 sekunder. 10-20 sekunder betyder att betongen flyter relativt raskt, 50-90 sekunder betyder att den är sirapsliknande och kryper mycket långsamt.

²⁶ Norsk Betongforenings Publikasjon nr 5, "Prosjektering og utførelse av betongkonstruksjoner i vann", 1994

²⁷ Vägverket, BRO 2002, kapitel 46.25

²⁸ Betonghandboken, Arbetsutförande, kapitel 26.5

²⁹ Bartos P.J., "Assessment of properties of underwater concrete by the orimet test", Special concretes – workability and mixing, 1990

³⁰ Norsk Betongforenings Publikasjon nr 5, "Prosjektering og utførelse av betongkonstruksjoner i vann", 1994

Orimet test³¹

Orimet-testet togs fram av Bartos (1978) som ett fälttest för högflytande betong. Metoden är en ersättning av sättmättet då dess användbara intervall passerats samt ett komplement till utbredningsmättet.

Utrustningen visas i **figur 8.6**. Till denna tillkommer en 10 liters hink tillkommer och ett stoppur.



Figur 8.6. Orimet.

Provutrustningen fuktas lätt invändigt ett prov på minst 7,5 liter eller en massa på 20 kg placeras i riggen. (Luckan stängs först.) Tiden det tar för betongen att tömmas ur tratten noteras. Tratten anses tom när operatören ser ljus i botten på tratten.

Normalt upprepas försöket 2-3 gånger efter varandra.

Performance test³²

Utvaskningstest är användbara för att visa effekten av ett tillsatsmedel på den färska betongens egenskaper. Dock visar inte dessa test hur väl betongen uppför sig när den gjuts under vatten. För att möjliggöra att studera kompakteringen, nivelleringen och tryckhållfastheten hos betongen kan ett enkelt utförande test genomföras.

Exempel på detta är en 20 liters behållare används där ett antal plaströr med diametern 20 mm monterats vilka simulerar armering. Plaströren är placerade i par i rät vinkel i

³¹ Bartos P.J., "Assessment of properties of underwater concrete by the orimet test", Special concretes – workability and mixing, 1990

³² Davies B.A., "Laboratory methods of testing concrete for placement underwater", Marine Concrete '86, The concrete society, p 279-286, 1986

förhållande till varandra. Ändarna på rören förslöts. Behållaren fylls med vatten och betong hålls i och får hårdna. Avformning sker efter 1-2 dygn.

Provkroppen inspekteras visuellt där man tittar efter separation, fickor och urvaskning. En 100 mm borrhärd kan borraras ur och tryckhållfasthet och densitet kan bestäms.

”Washed out” compressive strength³³

Denna provningsmetod baseras på det ”plunge test” som redogjorts för tidigare. Efter att man genomfört ovan beskrivna test då en trådkorg doppats i vatten har betongprovet i korgen åter blandats i blandaren och en kub 100 x 100 x 100 mm gjuts. Denna kub härddas och hanteras på samma sätt som övriga kuber där betongen ej provats vad gäller utvaskningsresistens. Tryckhållfastheten provas sedan efter 28 dygn och en jämförelse mellan tryckhållfastheten hos utvaskad och ej utvaskad betong görs.

Det kan dock förhålla sig så att tryckhållfastheten är högre i den utvaskade betongen då den från början haft ett högt luftinnehåll. Vid kontakt med vatten har luftinnehållet minskat och betongen är mer kompakterad.

Ovan beskrivna försök bör upprepas på tre prover för att få ett relevant värde.

8.2 Laboratorieförsök

Efter den inledande litteratursökningen valdes ett antal provningsmetoder ut där metoderna skulle verifieras för att sedan ingå i provningsprogrammet. Det som var av speciellt intresse var metoderna för att mäta utvaskning samt flytbarhet. De traditionella metoderna som sättmått och utbredningsmått ingick självklart. Urvalet gjordes i kombination med litteratursökningen och de erfarenheter som erhöles från kontakten med Kanada³⁴.

Den utrustning som behövdes för de tre metoderna för utvaskning och som inte provats tidigare utformades av Vattenfall Utveckling AB och tillverkades av intern personal. Ritningar och beskrivning går att finna i Bilaga E. En egen utformning var nödvändig då mått hos aktuell utrustningen inte finns dokumenterad i sökt litteratur.

Provningsmetoderna presenteras i **tabell 8.2.** tillsammans med en enkel beskrivning av hur själva provtagningen ska gå tillväga. För mer detaljerad och precis information hänvisas läsaren till aktuell provningsbeskrivning.

Tabell 8.2. Egenskaper kopplat till provade provningsmetoder och praktiskt förfarande.

Provad egenskap	Provningsmetod	Praktiskt förfarande
Utvaskning	Plunge test CRD 61 alt. Trådkorg VU-SC:45	Betong mäts upp i trådkorgen och släpps tre gånger i vatten stapeln. Vikten mäts efteråt och skillnaden ger en viktförlust . Mäts i %.

³³ Davies B A., ”Laboratorie methods of testing concrete for placement underwater”, Marine Concrete ’86, The concrete society, p 279-286, 1986

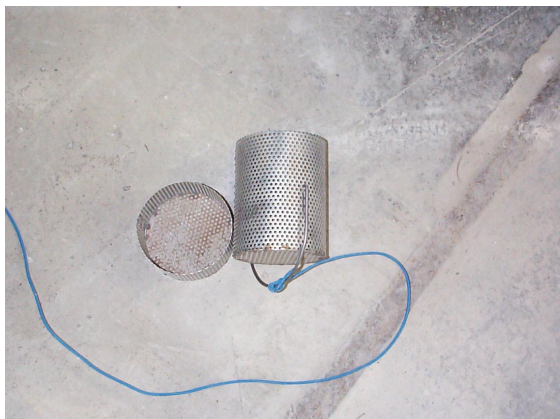
³⁴ Björkenstam E., ”Besök i Kanada för projektet undervattensbetongs räkning”, US 00:42, Vattenfall Utveckling AB, 2000.

Utvaskning	PH factor test	Betongen mäts upp till en bestämd mängd och placeras därefter i ett kärl med dubbelt så mycket vatten. PH värdet på vattnet mäts direkt, efter 15 min och efter 1 h. Anges i pH faktor.
Utvaskning och arbetbarhet / viskositet	L-lådan alt. VU-SC:47	Betong fylls i facket till dess att det är fullt. Därefter fylls vatten på i andra delen av lådan till en höjd av 25 cm. Luckan lyfts sedan 15 cm och tiderna för betongen att rinna ut noteras. Dessutom noteras sluthöjderna vid de olika avstånden.
Arbetbarhet / viskositet, flytbarhet, pumpbarhet	Orimet test alt. VU-SC:46	Betong hålls i konen, som är stängd i botten, och fylls helt. Tiden noteras från det att botten dras ur till dess att ljus kan ses genom botten på konen. Mått i sek.
Arbetbarhet	Sättmått SS-EN 12350-2	Betong placeras i konen i tre lager med 25 stötar i varje lager. Konen lyfts rakt upp och när betongen stannar mäts måttet mellan konen och högsta punkten på provet. Mått i mm.
Arbetbarhet, flytbarhet	Utbredningsmått SS-EN 12350-5	Betong placeras i aktuell kon i två lager med 10 stötar per lager. Därefter lyfts konen och tillhörande underrede lyfts försiktigt och släpps 15 ggr. Utbredning mäts av ett medel av två diagonaler. Mått i mm.

För att kunna se om utslag erhöles mellan olika betongsammansättnings egenskaper så jämfördes tre betongtyper. En undervattensbetong med AUV-medel, en undervattensbetong utan AUV-medel samt en normal K40 betong. Recepten finns i Bilaga F.

8.2.1 Resultat

Försöken visade att utvaskning bäst kunde provas genom plunge testet CRD 61. Dock bestämdes att fyra separata test skulle genomföras istället för rekommenderade tre. Detta för att metoden kräver noggrannhet av operatören både vid vägning och vid nedsänkning i vattnet. Metoden finns nu inskriven som en Vattenfall Utveckling metod, VU-SC:45. Utrustningen visas i **figur 8.7**.



Figur 8.7. Trådkorg VU-SC:45

Ph-testet visade inte så skarpa utslag varvid detta kan vara något osäkert vilket ledde till beslutet att inte ta med det i ett provningsprogram.

L-lådan användes på så vis att ingen armering placerades i den och endast de färskas egenskaperna kontrollerades. Metoden finns nu inskriven som VU-SC:47. För att kunna tolka och använda värdena används två kvoter. Kvoterna som används är höjden mellan punkt B och startpunkten samt punkt D och startpunkten, d.v.s. D-kvot och B-kvot. Utrustning visas i **figur 8.8**.



Figur 8.8. L-lådan VU-SC:47

Vad gäller Orimet testet så var skillnaderna mellan olika typer av betong mycket liten varvid en modifiering av utrustningen skedde genom att mynningen smalnades av något. Det nya utformningen gav tydligare och mer lättolkade resultat. Metoden finns inskriven som VU-SC:46.

Sättningsmått och utbredningsmått ger tydliga skillnader om betongens arbetbarhet för gjutningar i torrhet, dock säger den inte något om betongens egenskaper att gjutas under vatten och hur mycket den kan komma att utvaskas, se diagram i **kapitel 11.6**.

VU-SCs metoderna visas även i Bilaga C.

9 Studie av den hårdnade betongens egenskaper

Den härdade betongens egenskaper provas framförallt på två sätt, tryckhållfasthet samt frostbeständighet.

9.1 Tryckhållfasthet

Tryckhållfasthet provas enligt EN 12390-3. Det som måste bestämmas är vid vilka dygn provning ska ske och hur provkropparna ska gjutas och förvaras fram till provning. Eftersom tryckhållfastheten skiljer sig beroende på hur provkropparna lagras³⁵ måste detta specificeras och det samma gäller som tidigare nämnt hur de gjuts. Om provkropparna gjuts under vatten kan de vaskas ut och därmed minskar hållfastheten. Eller så kan provkropparna öka sin hållfasthet när vattentillgången ökar möjligheten till härdning.

9.2 Frostbeständighet

Frostbeständighet provas i Sverige enligt SS 13 72 44. Dock är metoden kanske inte helt lämpad för undervattensbetong, eftersom den i första hand mäter frostsador på ytan, avflagning, och inte inre frysning vilket kan vara undervattensbetongs största problem då betongen har tillgång till vatten från flera håll och därmed ökar risken för att uppnå kritisk fuktighetsgrad. Men det finns en del metoder som skulle kunna vara av intresse, se sammanställning i **tabell 9.1**.

³⁵ Betonghandboken Arbetsutförande, kapitel 15.4.1., Svensk Byggtjänst, 1994

Tabell 9.1. Tabell med karakteristika från sex olika frostprovningssmetoder.

	ASTM C 666 ³⁶	ASTM C 672 ³⁷	SS 13 72 44 ³⁸	SP metod ³⁹	CDF - LTH ⁴⁰	CIF - LTH ⁴¹
Härdningsförhållanden/ förhållande före provning	14 dygn i kalkmättat vatten	14 dygn i vatten följt av 14 dygn i luft	Härkning enligt standarden varav de 7 sista i klimatkammar $e/20 \pm 2^\circ\text{C}$, $65 \pm 5\%$ RF	Härkning enligt SS 13 72 44 varav de 7 sista i klimatkammar $e/20 \pm 2^\circ\text{C}$, $65 \pm 5\%$ RF	Påbörjas vid 90 dygn. Placeras 14 dagar före provning i kalkrikt vatten.	Påbörjas vid 90 dygn. Placeras 14 dagar före provning i kalkrikt vatten.
Antal frostcykler	300	50	56	50-91	300	300
Temp. Spännvidd i provkropp [$^\circ\text{C}$]	$4.4^\circ/-17.8^\circ/4.4^\circ$	$23^\circ/\text{omgivn. akt. frystemp.}/23^\circ$	$20^\circ/-18^\circ/20^\circ$	$20^\circ/-18^\circ/20^\circ$	$20^\circ/-20^\circ/20^\circ$	$20^\circ/-20^\circ/20^\circ$
Tidsperioder	1 cykel/2-5 h	1 cykel/24 h	1 cykel/24 h	1 cykel/24 h	1 cykel/12 h	1 cykel/12 h
Frostvätska	Rent vatten	Saltvatten 3%	3% NaCl alt. rent vatten	Rent vatten	Destillerat vatten	3% NaCl
Storlek på provkropp	-	-	150 x 150 x 50 mm eller $\varnothing 100 \times 50$ mm	150 x 150 x 50 mm	150 mm x $\varnothing 50$ mm	50 mm x $\varnothing 100$ mm
Fritt vatten	Nedsänkt i vatten	Endast överytan	Endast överytan	Endast överytan	Nedsänkt i vatten	Nedsänkt i vatten
Sågad el. gjutytta	Oklart	Oklart	Båda förekommer	Sågyta	Sågyta	Sågyta
Mätmetod	Längdändring, inre E-modul	-	Avflagning kontrolleras.	Längdändring, inre nedbrytning (UPTT* & FF**)	Prov-kroppens vikt-förändring och inre nedbrytning (FF**)	Prov-kroppens vikt-förändring och avflagning
Gräns för kravuppfyllande	Ej spec.	Visuell klassificering	$< 1\text{kg/m}^2$ (acceptabel)	Ej spec.	Ej spec., men ca. $> 3\%$	$< 1\text{kg/m}^2$ (acceptabel)

* UPTT – Ultrasonic Pulse Transmission Time

**FF – Fundamental Frequency

Vid en utvärdering av de faktiska förhållanden som gäller för undervattensbetong och vilka metoder som finns till hands har man valt att prova traditionellt enligt Boråsmetoden samt enligt Aubergs (CDF och CIF) modell för inre frostbeständighet. Anledningen till att det senare valdes var att den efterliknar det verkliga scenariot samt att den är snarlik den internationellt använda amerikanska metoden och detta underlättar

³⁶ Bernstone C., "Antiurvasningsmedels inflytande på undervattensgjuten betongs frostbeständighet – en litteraturstudie", Elforsk 00:19, 2000

³⁷ Dito.

³⁸ SS 13 72 44, Svensk Standard

³⁹ Luping T., Bager D., Jacobsen S., m.fl., "Evaluation of the Modified Slab Test for Resistance of Concrete to Internal Frost Damage, Nordtest Project No. 1485-00, SP Report 2000:34

⁴⁰ Auberg R., "Zuverlässige Prüfung des Frost und Frost-Tausalz. Widerstands von Beton mit dem CDF und CIF Test", University of Essen, 1998

⁴¹ Dito

vid en jämförelse med internationella resultat. Dock vore det intressant om den metod som provats vid SP kunde bearbetas något eftersom detta känns som en lämplig metod för undervattensbetong då betongen i praktiken troligtvis torkar ut inifrån (p.g.a. självuttorkning) och där endast en sida är mot vatten. Dock är det viktigt att vid provning efterlikna värsta scenario vilket är när betongen inte tillåts torka ut utan gjuts och förvaras fuktigt fram till provstart.

Andra metoder kan vara att bedöma frostbeständigheten utifrån luftporfördelningen mätt på tunnslip eller planslip. Man erhåller emellertid ofta dålig korrelation mellan mätt frostbeständighet och porstorleksfördelning.

I detta projekt provas de hårdnade egenskaperna enligt beskrivning i **tabell 10.5** sida 36.

10 Provningsprogram

Efter den inledande förprovningen, **kapitel 8**, då de färska egenskaperna kontrollerades med några nationellt sett nya metoder så arbetades ett provningsprogram fram. Detta program tog hänsyn till såväl de färska som de hårdnade egenskaperna hos undervattensbetong.

10.1 Provningsmetoder

10.1.1 Färsk betong

Den provning som genomfördes i programmet redovisas i **tabell 10.1**. Där anges även riktvärden på vad som var förväntade resultat.

Tabell 10.1. Provningsmetoder för färska egenskaper samt förväntade riktvärden.

Egenskap	Provningsmetod	Förväntat riktvärde
Arbetbarhet	Sättnått SS-EN 12350-2	150 mm utan AUV, 230-270 mm med AUV
Arbetbarhet / Viskositet	Utbredningsmått SS-EN 12350-5	350-400 mm utan AUV, 450-600 mm med AUV
Arbetbarhet / viskositet	Orimet VU-SC:46	Ej användbar utan AUV, tömmas med AUV >30 sek.
Urvaskning / Arbetbarhet	L-låda VU-SC:47	Det uppmätta värdet ska ha en D-kvot, flyta ut i hela lådan.
Urvaskning	Plunge Test CRD 61 / Trådkorg VU-SC:45	<10% utan AUV, < 6% med AUV
Lufthalt / Arbetbarhet	Lufthalt SS 13 71 24	1-6%
Densitet	Densitet SS 13 71 25	2200-2500 kg/m ³
Öppethållande - härdningsförlopp	Temperaturutveckling	Med retarder minst 4 timmar öppet hållande

10.1.2 Hårdnad betong

Den provning som genomfördes på den hårdnade betongen redovisas i **tabell 10.2**. Där anges även riktvärden på vad som var förväntade resultat. Förvaringen av provkropparna har dock skiljt sig från standard på så vis att vissa prover har förvarats i vatten ända fram till provstart, allt för att efterlikna verkligheten, se även **tabell 10.5**.

Tabell 10.2. Provningsmetoder för hårdnande egenskaper samt förväntade riktvärden.

Egenskap	Provningsmetod	Förväntat riktvärde
Hållfasthet	Tryckhållfasthet EN 12390-3.	> 30 MPa efter 28 dygn
Densitet	Kontroll vid provtryckning.	2200 – 2500 kg/m ³
Ytavflagning söt	Borås metoder SS 13 72 44 3B, sötvatten	För betong som kan utsättas för frost ska resultatet vara god ⁴² eller bättre.
Ytavflagning salt	Borås metoder SS 13 72 44 3A saltvatten	För betong som kan utsättas för saltfrost ska resultatet vara god ⁴² eller bättre.
Inre frostresistens söt	CDF – sötvatten. Metod som används vid LTH	För betong som kan utsättas för frost ska resultatet vara godkänt.
Saltfrost resistens	CIF - Metod som används vid LTH	För betong som kan utsättas för saltfrost ska resultatet vara god eller bättre.

10.2 Delmaterial och sammansättning

Vid framtagning av relevanta betongsammansättningar för att genomföra försök på undervattensbetong har man utgått från den litteraturstudie som utfördes 1999⁴³ samt vad som hittats i ytterligare funnen litteratur. Dessutom har diskussion skett med övriga medarbetare.

Den referensbetong som använts för att bedöma gjutegenskaperna är baserad på Svenska Sika AB:s försök som utfördes hos Vattenfall Utveckling AB under 1999.

Alla recept redovisas i Bilaga D.

Nedan följer en kortare redogörelse för de delmaterial som kan ingå i en undervattensbetong.

10.2.1 Ballastkurva

Allmänt om ballast i undervattensbetong kan följande nämnas:

- Ballastens sammansättning har stor betydelse för betongmassans rörlighet och sammanhållning. Den bör sammansättas så att en jämn kornkurva erhålls. Det som bör undvikas är fingrus med skarpkantad kornform. Makadam kan dock användas.
- En förbättrad rörlighet och sammanhållning erhålls om mängden finmaterial är hög.
- Lämplig mängd material mindre än 0,25 mm är 8%. Mängden ballast över 4 mm bör vid största sten storlek (32 mm) inte vara över 52%.⁴⁴

⁴² Avflagning vid 56 cykler är <0,20 kg/m² alt. <0,50 kg/m² om $m_{56}/m_{28} < 2$.

⁴³ Bernstone C., Antiurvaskningsmedels inflytande på undervattensgjuten betongs frostbeständighet – en litteraturstudie, Elforsk 00:19, 2000

⁴⁴ Betonghandboken, ”Arbetsutförande”, kapitel 26 samt Vägverket, ”BRO 2002”, kapitel 46.24.

- Det vanligast idag är ett stenmax på 16 till 25 mm, det förekommer nästan aldrig 32 mm sten i dagens undervattensbetong. (Större sten än 32 mm får inte användas.)
- I betonghandboken nämns att rekommenderad mängd finmaterial under 0,25 mm är ca. 10%⁴⁵.

Ballastkurvor presenteras i Bilaga D tillsammans med resp. recept.

10.2.2 Cement

Allmänt om cement som används i undervattensbetong kan följande nämnas:

- Cementet som används ska uppfylla kraven i ENV 197-1 Cem I. Cementen ska även vara betecknat med BV (begränsad värmeutveckling), LA (lågalkaliskt) samt SR (sulfatresistent)⁴⁶.
- Det innebär i praktiken att det är Std P Cement, anläggningscement, som använts. Cementet har låg värmeutveckling, lågalkaliskt samt sulfatresistent dessutom bidrar det till en god arbetbarhet.
- Betongens cementshalt ska vara minst 350 kg/m³ och vid gjutstart bör minsta cementshalt vara 400 kg/m³⁴⁷. En högre cementshalt används alltid i början av en gjutning för att smörja pumpen samt ha god sammanhållning i kontakt med vattnet. I försöken har mängden varierat mellan 350-420 kg/m³.

10.2.3 Antiutvaskningsmedel

AUV-medlet används för att ge betongen bra sammanhållning och goda flytegenskaper samt för att undvika utvaskning.

AUV-medlens aktiva komponent är i allmänhet cellulosa. Andra delkomponenter är ofta ett fyllnadsmedel t.ex. sand, vilket har som funktion att förhindra sammanklumpning ("fiskögon") av cellulosan vid kontakt med vatten. Andra delkomponenter kan vara skumdämpare samt retarder och flyttillsatsmedel⁴⁸. Internationellt använder man sig även av en typ av AUV-medel som kallas wellan gum.

Det finns tre olika typer av huvudgrupper av AUV-medel i världen som används idag⁴⁹:

- Naturliga polymerer. Ett produktexempel är polysackariden "welan gum" vilken framställs genom kontrollerad aerobisk jäsning.
- Semisyntetiska polymerer, ofta cellulosa-eterderivat. Några produktexempel redovisas i **tabell 10.3**.
- Syntetiska polymerer (etylenbaserade). Exempel: Polyacrylamid.

⁴⁵ Betonghandboken, "Material", kapitel 35.2.

⁴⁶ Vägverket, "BRO 2002", kapitel 43.22

⁴⁷ Vägverket, "BRO 2002" kapitel 46.23.

⁴⁸ Hansson P. "Undervattensbetongs vidhäftning mot gammal betong"

⁴⁹ Bernstone C., Antiutvaskningsmedels inflytande på undervattensgjuten betongs frostbeständighet – en litteraturstudie, Elforsk 00:19, 2000

De vanligast förekommande AUV-medlen i Sverige är av typen cellulosa-eterderivat och redovisas i **tabell 10.3**.

Tabell 10.3. Vanligast förekommande AUV-medel i Sverige.

Tillsatsmedel tillverkare	Produkt
Sika ⁵⁰	VUC- cellulosa baserat, torrt pulver, retarder ingår men där flyttillsatsmedel (SP) tillsätts separat. Dosering 2% av cementmängd.
Rescon Mapei ⁵¹	Rescon T – cellulosa baserat, torrt pulver, retarder och silika ingår men flyttillsatsmedel tillsätts separat (SP). Dosering ca. 4% av cementmängd.
Master Builders ⁵²	Rhemac UW 400 (Hydrogel) – torr pulver Dosering 1,5% av cementmängd.
Cementa ⁵³	Hydrocem – cellulosa baserat pulver där flyttillsatsmedel, retarder och silika ingår. Dosering okänd.

AUV-betongens egenskaper gör att den i princip kan släppas fritt genom vatten utan att kvalitén försämras i någon större omfattning. Detta ska dock inte leda till att man slarvar vid utförandet, utan det har visat sig att trots att AUV-medel tillsätts så kan brister erhållas. Detta kan bero på att brister förekommit vid blandning och att man därmed fått problem med att dispergera och fördela AUV-medlet i betongen.

AUV-medlet medför även att betongen kan tillverkas med en högre konsistens och därmed flyter den ut lättare och därmed bättre omsluter armering. En risk med detta är att konsistensen kan bli för lös och därmed uppkommer bruksseparation. (Detta är ett fenomen som bör studeras närmare i framtiden då trenden är att konsistenser likt självkompakterande betong eftersträvas.) Ett annat problem kan vara gjuthastigheten, för hög gjuthastighet kan ge separation samt att för låg hastighet kan ge skiktningar. Dessutom påverkar utformningen på den armerade konstruktionen samt gjutrörets placering.

I denna studie har de vanligast använda AUV-medlen av typerna welan gum och cellulosa-eterderivat använts. Mängden har baserats på tillverkarens rekommendationer. Erfarenheter säger emellertid att så låg tillsatsmedelsmängd som möjligt är positivt för frostbeständigheten varför detta har eftersträfvats. Denna effekt beror troligtvis på en del cellulosebaserade AUV-medel förmåga att samla stora mängder luft, upp till 15%, varför skumdämpare måste tillsättas⁵⁴. Detta påverkar i sin tur en negativ inverkan på den luftporbildare som tillsätts. Forskning har visat att betong med AUV-medel med flyttillsatsmedel behöver större tillsats av luftporbildare för att erhålla god frostresistens⁵⁵.

De produkter som använts presenteras i samband med recepten i Bilaga D.

⁵⁰ www.sika.se

⁵¹ www.resconmapei.com

⁵² www.modernbetong.se

⁵³ www.cementa.se

⁵⁴ Khayat K.H, "Effects of Antiwashout Admixtures on Fresh Concrete Properties", ACI Structural Journal, March- April 1995 p 165

⁵⁵ Dito p 171

10.2.4 Övriga tillsatsmedel

Retarderande tillsatsmedel fördröjer betongens tillstyvnande och tidpunkten när hållfasthetstillväxt börjar, utan att påverka hastigheten för hållfasthetstillväxten, när den väl kommit igång. I samband med undervattensgjutningar så används den för att styra tillstyvnandet. Detta kan göras i upp till flera dygn.

Doseringen beror på typ av medel och utspädningsgrad och kan alltså variera beroende på fabrikat. Den är också starkt beroende av cementsorten.

Tidpunkten för tillsättningen påverkar medlets effekt. Retardationen ökar med ökad blandningstid före tillsättningen av medlet.⁵⁶

Det retarderande tillsatsmedlet ska vara fosfat- eller hydroxyl-carboxylsyrabaserat⁵⁷. I detta projekt har Master Builders retarder använts.

Flyttillsatsmedel används för att påverka betongens vattenbehov och konsistens. Det som skiljer flyttillsatsmedel från vattenreducerare är att det har en kraftigare effekt och genom att de ger ingen eller mycket liten retardation.⁵⁸

Det vanliga i undervattensbetong är användning av superplasticerare⁵⁹.

Flyttillsatsmedel är naturligtvis en förutsättning för att betongen ska få önskad arbetbarhet och tillsätts därmed. Alla tillsatsmedel och aktuella doseringar togs fram i samarbete med tillsatsmedelstillverkaren. Både plasticerare och super plasticerare har använts.

Ytterligare ett tillsatsmedel som kan förekomma är luftporbildare. Luftinblandning kan också användas i syfte att förbättra betongens gjutegenskaper.⁶⁰ I detta projekt har framförallt Master Builders Micro Air använts.

Luftporbildare har enligt tidigare utförda studier visat sig var en viktig komponent för att få en frostbeständig undervattensbetong. En allmän rekommenderad minsta lufthalt för betong är 4-7%. Dessutom behövs en bra luftporstruktur. Studier visar även att en skumdämpare kan ge en bättre porstruktur vid kombination av luftporbildare och cellulosa baserat AUV-medel⁶¹.

10.2.5 Tillsatsmaterial

Silika har vid tidigare försök använts vid undervattensgjutningar⁶². Enligt utförd litteraturstudie har det visat sig att en ökad täthet hos betongen (m.h.a. silika) ger en mer frostbeständig betong. Vid tidigare utförda försök har man dock påpekat vissa risker med att använda silika vilka kan undvikas om silikan dispergeras väl. En studie hos

⁵⁶ Betonghandboken "Material", kapitel 5.3.

⁵⁷ Vägverket, "BRO 2002", kapitel 46.26

⁵⁸ Betonghandboken "Material", kapitel 5.5.

⁵⁹ Ramechandra V.S., "Concrete Admixtures Handbook", 2nd ed., 1995, kapitel 10.7

⁶⁰ Betonghandboken, "Material", kapitel 5.6

⁶¹ Bernstone C., Antiurvaskningsmedels inflytande på undervattensgjuten betongs frostbeständighet – en litteraturstudie, Elforsk 00:19, 2000

⁶² Hansson P., "Frostbeständighet hos undervattensbetong", VUAB 1995

CBI⁶³ erhållit resultat som visar att kondenserat silikapulver (vid försöken användes Silika från Ljungakil med densiteten 7 g/cm³) inte är lätt att dispergera. I betongen förvandlas den odispergerade silikan till en alkalisilikagel. Studien visar även på att blandningsordning och ballastens gradering är de viktigaste faktorerna. Resultaten indikerar att ballasten måste mekaniskt krossa och dispergera silikan innan finmaterial och cement tillsätts. Odispergerad silika har visat sig vara alkali reaktivt, vilket kan leda till nedbrytning vid kontakt med vatten. Vilket i praktiken inte betyder att det skadar betongen. Eftersom inga fall har till dags datum funnits. Både denna studie och tidigare utförda sådana visar att prover med silika i måste frysprovas längre än 56 cykler. Man har erhållit resultat där frostbeständigheten varit god, men efter 100 cykler har en drastisk nedbrytning skett. 120 cykler rekommenderas idag.⁶⁴

I Norge har man alltid silika i sin undervattensbetong och en del AUV-medel har silika som delkomponent.

Masugnsslagg har enligt litteraturstudien gett en förbättrad frostbeständighet dock är man osäker på långtidsegenskaperna eftersom luftporsystem som etableras med tillsats av masugnsslagg snabbt vattenfylls⁶⁵.

Flygaska förekommer i vissa internationella studier, men har inte använts i detta projekt.

10.2.6 Vattencementtal (vct)

Vattnet ska vara rent, d.v.s. vattnet ska duga som dricksvatten i annat fall ska en undersökning genomföras, havsvatten godtas inte⁶⁶.

Vanligast förekommande vct i undervattensbetong är ca. 0,5, men det är framförallt cementmängden som är den styrande parametern och som man enligt BRO 2002 och Betonghandboken ska hänvisa till.

10.2.7 Gjutning och provtagning

10.2.8 Gjutning

Blandningsutrustning

För de stora satserna i steg 1, steg 2 och steg 4 användes en stor Rojoblandare med en kapacitet på 200 liter. Satsstorlekarna var på 160 liter. Se **bild 10. 1.**

För de lite mindre satserna i steg 3 användes en mindre Rojoblandare med en kapacitet på ca. 100 liter. Satsstorleken var på ca. 25.

⁶³ Lagerblad B., Utkin P., "Silica granulates in concrete – dispersion and durability aspects", CBI 3:93, 1993

⁶⁴ Dito

⁶⁵ VAST, Betong i vattenkraftanläggningar, kraftverksföreningens utvecklingsstiftelse", ISBN 91 87 33070, 1995

⁶⁶ Betonghandboken "Arbetsutförande", kapitel 4.2.



Bild 10.1. Stora Rojoblandaren.

Tillsättning

För att erhålla den bästa betongen har erfarenheter från tidigare forskningsprojekt och uttalanden från K. Khayat använts för att bestämma ordningen vid tillsättning av delmaterialen. Den ordning som användes var följande:

1. Ballast, cement och ev. tillsatsmaterial
2. AUV-medel blandat med lite cement tillsätts – de torra materialen blandas i ca. 1 minut
3. Vatten och flyttillsatsmedel
4. Ev. luftporbildare – en avslutande blandning på ca. 5 minuter

Gjutning av provkroppar

Man kan särskilja tre zoner för frostpåverkan:

- ☐ Under vatten (1)
- ☐ I skalpzon (2)
- ☐ I luft (3).

I provningsprogrammet begränsar vi oss dock till att efterlikna två av scenarierna. Konstant vattenkontakt samt helt i luft. Detta efterliknas genom att prover gjuts och förvaras på följande två sätt:

- ☐ Gjuts och härdas i vatten samt förvaras i vatten (rums tempererat) även efter avformning och fram till provtagning
- ☐ Provkropparna gjuts och härdas ovan vatten samt förvaras i luft (+20°C i klimat rum) fram till provning (dock inkl. 5 dygn i vatten efter avformning enligt standard)

Vid en första omgång gjordes gjutningen i vatten genom att betongen placerades i gjutformar, 150 x 150 x 150 mm, med en enklare tratt, dock fungerade inte detta på ett tillräckligt bra sätt. Därför togs en ny gjutanordning fram där betong gjöts i vattenfyllda hinkar, se bild 10.3. Provkroppar togs sedan ut genom att cylindrar borrades ut.

10.2.9 Antal provkroppar

I tabell 10.4 samt 10.5 anges för varje provningsmetod det antalet provkroppar som ska tas ut. I Bilaga E finns det protokoll som använts vid genomförande av provningsprogrammet.

Tabell 10.4. Provningsmetoder och antalet samt typ av provkroppar

Egenskap	Provningsmetod	Typ och antalet prover
Arbetbarhet	Sättnått SS-EN 12350-2	Sker direkt* samt efter 1, 2 & 3 timmar.
Arbetbarhet / Viskositet	Utbredningsmått SS-EN 12350-5	Sker direkt* samt efter 1, 2 & 3 timmar.
Arbetbarhet / viskositet	Orimet VU-SC:46	Sker direkt* samt efter 1, 2 & 3 timmar.
Utvaskning / Arbetbarhet	Mod. L-låda VU-SC:47	Sker direkt*.
Utvaskning	Plunge Test CRD 61 / Trådkorg VU-SC:45	Sker direkt*. 4 omgångar per sats.
Lufthalt / Arbetbarhet	Lufthalt SS 13 71 24	Sker direkt*.
Densitet	Densitet SS 13 71 25	Sker direkt*.
Öppethållande - härdningsförlopp	Temperaturutveckling	En provning per sats. Startas direkt*.

* Efter avslutad blandning. Ej längre än 20 minuter efter avslutad blandning.

Tabell 10.5. Provningsmetoder och antalet samt typ av provkroppar

Provad egenskap	Provningsmetod	Praktiskt förfarande
Hållfasthet	Tryckhållfasthet EN 12390-3 Mäts i MPa.	Alternativen som använts är: 6 kuber gjuts i torrhet, 3 st. provas efter 7 dygn och 3 st. efter 28 dygn efter härdning enligt SS-EN 196-1. 3 kuber gjuts under vatten vilka hålls under vatten fram till provning efter 28 dygn. En hink fylls med vatten och betong gjuts i hinken. Efter 21 dygn borras kärnor ut och hållfastheten provas efter 28 dygn. Betongen är hela tiden fuktig.
Frostresistens	Borås metoder SS 13 72 44 3B, sötvatten Mäts genom kontroll av mängd avflagnad betong, kg/m ² .	Alternativen som använts är: 3 kuber gjuts i torrhet och härdas och förbereds för provning enligt SS 13 72 44 3B. Därmed tillåts betongen att torka ut, vilket är gynnsamt ur frostbeständighetssynpunkt. 3 kuber gjuts i vatten och förvaras under vatten fram till provstart. Så långt som möjligt har proverna behållits fuktiga under förberedelsen för provning, vilket skett enligt SS 13 72 44 3B. En hink fylls med vatten och betong gjuts i hinken. Efter 21 dygn borras kärnor ut (h 50 mm ø 100 mm) och behålls fuktiga under förberedelsen för provning, vilket skett enligt SS 13 72 44 3B. Betongen är hela tiden fuktig.
Frostresistens	Borås metoder SS 13 72 44 3A saltvatten Mäts genom kontroll av mängd avflagnad betong, kg/m ² .	Alternativen som använts är: 3 kuber gjuts i torrhet och härdas och förbereds för provning enligt SS 13 72 44 3A. Därmed tillåts betongen att torka ut, vilket är gynnsamt ur frostbeständighetssynpunkt. 3 kuber gjuts i vatten och förvaras fuktiga fram till provstart. Så långt som möjligt har proverna behållits fuktiga under förberedelsen för provning, vilket skett enligt SS 13 72 44 3A. En hink fylls med vatten och betong gjuts i hinken. Efter 21 dygn borras kärnor ut (h 50 mm ø 100 mm) och behålls fuktiga under förberedelsen för provning, vilket skett enligt SS 13 72 44 3A. Betongen är hela tiden fuktig.
Inre frostresistens	CDF – sötvatten. Metod som används vid LTH Mäts genom kontroll av E-modul förändring samt viktförlust.	En hink fylls med vatten och betong gjuts i hinken. Efter 21 dygn borras kärnor ut (h 150 mm ø 50 mm) och behålls fuktiga under förberedelsen för provning, vilket skett i Lund. Betongen är hela tiden fuktig. Proverna placeras i formar och omges helt av vatten.
Salt frostresistens	CIF - Metod som används vid LTH Mäts genom kontroll av mängd avflagnad betong, kg/m ² .	En hink fylls med vatten och betong gjuts i hinken. Efter 21 dygn borras kärnor ut (h 50 mm ø 100 mm) och behålls fuktiga under förberedelsen för provning, vilket skett enligt SS 13 72 44 3A. Betongen är hela tiden fuktig.

11 Genomförande av försök

Försöken har genomförts i fyra steg och det är i den ordningen de presenteras, d.v.s.:

- Steg 1 – Inledande försök på färskas egenskaper
- Steg 2 – Referensblandningar
- Steg 3 – Flertal mindre blandningar
- Steg 4 – Slutliga försök

11.1 Steg 1 – Inledande försök på färskas egenskaper

Syftet med steg 1 var att studera provningsmetoderna för de färskas egenskaperna så som utvaskning och arbetbarhet. Steg 1 redovisades i kapitel 8.2.

11.2 Steg 2 – Referensblandningar

Syftet med steg 2 var att genomföra en omgång blandningar som sedan ska ligga som grund för lämpliga riktvärden för de olika provningsmetoderna.

För att göra detta blandades fyra satser, en undervattensbetong utan AUV- medel, en modifierad självkompakterande betong samt två med AUV-medel. Skillnaderna mellan de två sistnämnda var stenmax på 16 mm resp. 32 mm. Recepten utgick ifrån tidigare gjutning i laboratoriet med Sikas antiutvaskningsmedel enligt BRO 2002⁶⁷. För undervattensbetongen utan AUV-medel användes recept som tidigare använts vid forskningsuppdrag hos Vattenfall Utveckling AB⁶⁸. Den självkompakterande betong som användes var efter rekommendationer av en materialtillverkare lite styvare än normalt då den ansågs bättre lämpad för att gjuta under vatten. Recepten inkl. ballastkurvor redovisas i Bilaga D.

11.2.1 Resultat steg 2

Vad gäller de färskas egenskaper så noterades följande:

Det är svårt att se på sättmått och utbredningsmått om betongen vaskas ut eller ej. Det kan däremot Plunge testet visa på ett bra sätt. Detta visas även i **diagram 11.1** och **11.2** i kapitel 11.6. Vad gäller egenskaperna att gjuta under vatten syns detta bäst genom L-lådan samt via Orimet testet. Detta visas även i **diagram 11.3** och **11.4**. i **kapitel 11.6**.

⁶⁷ Björkenstam E., Provning av undervattensbetong med antiutvaskningsmedel, SIKA, UC 99:6, Vattenfall Utveckling AB 1999

⁶⁸ Hansson P., "Frostbeständighet hos undervattensbetong", Vattenfall Utveckling AB, 1995



Bild 11.1. Undervattensbetong med AUV-medel.



Bild 11.2. Självkompakteradebetong med något styvare konsistens, utbredning av sättmått 570 mm.



Bild 11.3. K40 betong med luft.



Bild 11.4. Traditionellundervattensbetong utan AUV-medel.

Vad gäller de hårdande egenskaperna så noterades följande:

Själva gjutförfarandet och härdningsförfarandet påverkar också resultatet. Gjuts betongen under vatten och förvaras fuktigt hela tiden påverkar detta tryckhållfastheten och frostbeständigheten. Båda egenskaperna blir generellt sämre då betongen gjuts i vatten.

I övrigt så är undervattensbetong utan AUV-medel frostbeständig vid kontroll av ytavskalning med söt vatten. Däremot fryser den sönder om betongen omges helt av söt vatten, d.v.s. inre frostbeständighet.

Självkompakterande betong verkar klara sig bättre ur frostbeständighet synpunkt. Dock är den mer benägen att vaskas ut, vilket beror på mängden finmaterial som består av kalkfyller, men inget AUV-medel som håller ihop den.

Vanlig konstruktions betong K40 kan ha svårt att klara frostbeständigheten vid gjutning under vatten då en hel del av finmaterialet och cementpastan vaskas ut. I övrigt klarar den frostprovnigen. En sammanställning av resultaten finns även i **tabell 11.1**.

Tabell 11.1. Sammanställning av medelvärden för referensblandningarna.

Sammansättning	UV-normal (2st)	AUV (2 st.)	AUV-32 mm (1 st.)	K40 (1 st.)	SKB ^B (3 st.)	SKB (1 st.)
Vct	0,5	0,5	0,5	0,5	0,35	0,5
Cementmängd	400 kg/m ³	400 kg/m ³	400 kg/m ³	395 kg/m ³	450 kg/m ³	400 kg/m ³
Provningsmetod						
Sättningsmått SS-EN 12350-2	150 mm	230-250 mm	250 mm	50 mm	-	260 mm
Utbredningsmått SS-EN 12350-5	500 mm	450-500 mm	500 mm	350 mm	740 mm	570 mm
Orimet VU-SC:46	- ^A	30-60 sek.	- ^A	- ^A	-	
Mod. L-låda VU-SC:47	B kvot 0,7 D kvot -	D kvot 0,05-0,5	D kvot 0,5	- ^A	-	D kvot 0,6
Plunge Test CRD 61 / Trådkorg VU-SC:45	3 resp. 5 %	2 resp. 3%	6 %	7%	-	24 %
Lufthalt SS 13 71 24	4%	3%	3%	6%	1-7%	6%
Densitet SS 13 71 25	2300 kg/m ³	2350 kg/m ³	2400 kg/m ³	2350 kg/m ³	-	2300 kg/m ³
Öppethållande	8 h	8 h	8 h	3 h	-	4 h
Tryckhållfasthet EN 12390-3	40 MPa (vatten)	65 MPa (vatten)	65 MPa (vatten)	60 MPa (vatten)	60 MPa (torrhet)	70 MPa
Borås metoder SS 13 72 44 3B, sötvatten uttorkad	Mkt god till god	Mkt god till god	Mkt god till god	Mkt god	-	Mkt god
Borås metoder SS 13 72 44 3A saltvatten uttorkad	Inte acceptabel	Inte acceptabel	-	God	-	-
CDF – sötvatten. Metod som används vid LTH	Sönderfryst –100 %	Sönderfryst –100 %	Sönderfryst –100 %	-54 efter 100 cykler -75% efter 300 cykler	?	Fryser inte sönder - 5%
CIF - Metod som används vid LTH	-	24kg/m ²	-	-	0,04 kg/m ²	-

^A Metoden fungerar ej med så styv betong.

^B Recept från projektet vid LTH – självkompakterande betong.

11.3 Steg 3 – Flertal mindre blandningar

Syftet med steg 3 var att på ett enkelt sätt se över möjliga sammansättningar för att på så vis erhålla en frostbeständig undervattensbetong. Ett 20-tal mindre blandningar genomfördes. På dessa satser togs ett färre antal prover än vad som ingår i det fullständiga programmet. Recepten och provresultat redovisas i Bilaga E.

De sammansättningar som valts baseras på de forskningsresultat som erhållits i och med tidigare utförd litteraturstudie, 2000, samt de rekommendationer som erhöles från K. Khayat i Kanada.

11.3.1 Resultat steg 3

Olika AUV-medel

Syftet med att prova olika AUV-medel var att se skillnader mellan på marknaden olika produkter. De produkter som provades var:

- ❑ Sika Viscocrete – cellulosa baserat inkl. retarder. Separat tillsätts flyttillsatsmedel.
- ❑ Cementa Hydrocem – cellulosa baserat inkl. retarder, silika och flyttillsatsmedel.
- ❑ Wellangum – inkl. retarder. Separat tillsätts flyttillsatsmedel av naftalen typ.

Sikas Viscocrete är det AUV-medel som har använts i de flesta försöken och ingår även i referensblandningarna. Medlet med tillhörande flyttillsatsmedel ger en bra undervattensbetong med god arbetbarhet och god utvaskningsresistens.

Det andra AUV-medel som provats är Cementas Hydrocem, vilket resulterar i en styv undervattensbetong dock med goda utvaskningsegenskaper. Styvheten tros framförallt bero på att produkten innehåller silika. Möjlighet finns att arbeta med flyttillsatsen som kunde vara effektivare.

Den produkt av wellangum som provades var Kelcos-Crete K1C376. Den blir något styvare än referensbetong där Sikas AUV-medel och deras flytmedel använts. Wellangum ska enligt tillverkaren passa bäst ihop med ett naftalenbaserat flyttillsatsmedel, dock bör en mer effektiv flyttillsats användas. Utvaskningen var dock lägre för betong innehållande wellangum än för betong med cellulosa baserat antiutvaskningsmedel. (Detta med en något sämre konsistens p.g.a. det mindre effektiva flyttillsatsmedlet.)

De hårdnade egenskaperna var goda, för alla ovanstående försök, vad gäller tryckhållfasthet och frostbeständighet. Det senare kontrollerades genom ytavflagning i söt vatten.

Cellulosa och skumdämpare

Syftet med att blanda in cellulosa och skumdämpare separat var att skapa en egen produkt med antiutvaskningsegenskaper. Möjligheten att förändra mängderna av cellulosa och skumdämpare ökar därmed. I detta projekt utfördes endast ett enstaka försök där de färskas egenskaperna provades och endast forstprovning med ytavflagning med sötvatten användes.

Cellulosa produkten var Methocells J12 MS och skumdämparen var Henkel Nopcos i flytande form.

De färskas egenskaperna ger inte så stora skillnader i jämförelse med Sikas produkt och detsamma gäller de hårdnade egenskaperna.

Luftinblandning

Syftet med att tillsätta luft är framförallt att öka en frostbeständigheten. I steg 3 ställs dock främst fokus på de färska egenskaperna och därför provas endast ytavflagnings med söt vatten.

Vid tillsättning av luft till en traditionell undervattensbetong utan AUV-medel fick man en förbättrad arbetbarhet samtidigt som utvaskningen ökade något. De AUV-medel och luftporbildare som kombinerades var Sikas Viscocrete, Cementas Hydrocem och Wellangum.

Vid dessa försök där undervattensbetong med AUV-medel användes tillsattes en överdosering av luftporbildare då AUV-medel ingick. Detta på rekommendationer från Kamal Khayat i Kanada. De färska egenskaperna påverkas genom att arbetbarheten blir bättre vilket får anses som naturligt då luft "smörjer" betongen och gör den mer lätttröglig. Betongen får dock en tendens till att vaskas ut något mer.

De hårdnade egenskaperna påverkas på så sätt att hållfastheten kan minska. (För Cementas produkt var detta markant.) Vad gäller frostbeständigheten så klarar betongen ytavflagnings i söt vatten. Övrig frostbeständighet har inte provats utan mer om detta finns under kap. 11.4, resultat steg 4.

Silika

Syftet med att prova att tillsätta silika är att det enligt tidigare forskning⁶⁹ visat sig ge en positiv effekt på frostbeständigheten. Detta genom att det främst ger en tätare betong. I detta skede har främst de färska egenskaperna studerats och därav provades endast ytavflagnings med söt vatten.

Den produkt av silika som provades var i flytande form Elkem Microsilika - slurry och i fast form Elkem Microsilika - grade 920-D.

De färska egenskaperna påverkas obetydligt av en tillsatt mängd av 5% av cementvikten i samband med AUV-medel. (Att cementas produkt är så pass styv beror troligtvis på det flyttillsatsmedel som använts där doseringen eller typen borde ändras.)

Då en normal betong utan AUV-medel används ökar utvaskningen kraftigt. Detta gäller både för fast och flytande silika. Detta torde bero på de ökad mängd finmaterial samtidigt som AUV-medel inte ingår.

De hårdnade egenskaperna skiljer sig inte nämnvärt förutom en något högre hållfasthet, vilket är naturligt då silika tillsätts.

Bentonit

Syftet med att tillsätta bentonit var att det i normala fall ger en mer sammanhållande betong samt binder den samman så att utvaskningen torde bli lägre och därmed kan AUV-medlet utelämnas. Dock ska den ha en negativ inverkan på frostbeständigheten. I

⁶⁹ Hansson P., *Frostbeständighet hos undervattensbetong*, Vattenfall Utveckling AB, 1995

detta skede har främst de färska egenskaperna studerats och därav provades endast ytavflagning med söt vatten.

Den produkt av bentonit som provades var i pulverform och av typen Brebent processed bentonite med en tillsatt mängd av 5% av cementvikten. Att blanda in bentonit i en normal undervattensbetong utan AUV-medel ger en betong som vaskar ut mindre dock anses det påverka frostbeständigheten, vilket inte kan ses här eftersom endast ytavflagning i sötvatten provats samt ge en något sämre tryckhållfasthet.

Bentonit och Silika

Syftet med detta var att se om kombinationen bentonit och silika kunde ersätta AUV-medlet samt ge några positiva effekter på färska egenskaper samt frostbeständigheten.

Produkterna var av bentonit Brebent och av silika Elkem Microsilika i fast form.

Man erhåller en mer lättarbetad betong än den helt utan AUV-medel dock är den styvare än betong med AUV-medel (Sikas). Någon större skillnad i urvaskning då luft tillsätts kan inte skönjas, men hållfastheten försämras då luft ingår. Frostbeständigheten där ytavflagning med sötvatten kontrollerats är mycket god.

Siktkurva

Syftet med att använda sig utav en siktkurva med mer finmaterial var att detta ska enligt tidigare forskning har en positiv inverkan på frostbeständigheten, främst genom att det gynnar en god luftporstruktur. I steg 3 ställs dock främst fokus på de färska egenskaperna och därför provas endast ytavflagning med söt vatten.

De färska egenskaperna skiljer sig inte nämnvärt från betong med AUV-medel. Det enda som kan noteras är att utvaskningen inte ökar då luft tillsätts, vilket annars är normalt. De hårdnade egenskaperna påverkas inte nämnvärt och frostbeständigheten mot ytavflagning med sötvatten är mycket god.

Låga vct

Syftet med att prova med lägre vct är att en tätare betong generellt bidrar till en förbättrad frostbeständighet. De vct som provats är det normala 0,5 samt 0,41 och 0,37.

De färska egenskaperna påverkas på så vis att urvaskningen blir lägre men det är relaterat till den sämre arbetbarheten (lägre sättmått och utbredningsmått). Hållfastheten är rel. låg, men det beror främst på inblandning av luft. Frostbeständigheten vid kontroll av ytavflagning med söt vatten är mycket god.

11.3.2 Sammanfattning

Alla försök som gjorts ger goda resultat vid frostprovning i sötvatten.

Beroende på de iakttagelser och resultat som har gjorts i och med ovan presenterade försök beslutades att i steg 4 prova att tillsätta luft i en undervattensbetong med AUV-

medel. Det AUV-medel som använts är Sikas Viscocrete och anledningen till detta är främst att det är den produkt som är vanligast förekommande på den svenska marknaden för tillfället, det har provats enligt Vägverkets VV Publ. 2002:50 med goda resultat samt att erfarenheterna i tidigare laborationsförsök varit positiva där den produkten använts. Luftporbildaren var Sikas

Andra intressanta alternativ som skulle kunna vara lämpliga vägar är:

- Mindre mängd av AUV-medel i kombination med silika och luftinblandning.
- Minska mängden skumdämpare i AUV-medlet – anpassa produkterna luftporbildare och AUV-medel.

Som tidigare nämnts så visar inte sättning och utbredningsmått om betongen vaskar ut eller ej. Detta förtydligas i **diagram 11.1** och **11.2** där samtliga resultat i steg 1 till 3 sammanställts, se **kapitel 11.6**.

Betongens förmåga att flyta ut och självnivellera syns tydligast genom L-lådan. Detta förtydligas i **diagram 11.3** och **11.4**, se **kapitel 11.6**.

11.4 Steg 4 – Slutliga försök

I ett avslutande steg bestämdes att försöka hitta en frostbeständig undervattensbetong genom att tillsätta luftporbildare. Recepten redovisas i Bilaga D.

11.4.1 Resultat steg 4

Tabell 11.2. Sammanställning av medelvärden för blandningarna.

Sammansättning	K40 betong 6% luft	AUV-btg utan luftporbildare	AUV-btg med 8% luft	AUV-btg med 11% luft
Vct	0,5	0,5	0,45	0,45
Cementmängd	395 kg/m ³	400 kg/m ³	400 kg/m ³	400 kg/m ³
Provningsmetod				
Sättningsdjup SS-EN 12350-2	50 mm	230-250 mm	245 mm	255 mm
Utbredningsdjup SS-EN 12350-5	350 mm	450-500 mm	460 mm	500 mm
Orimet VU-SC:46	- ^A	30-60 sek.	65 sek.	12 sek.
Mod. L-låda VU-SC:47	- ^A	D kvot 0,5	D kvot 0,2	D kvot 0,4
Plunge Test CRD 61 / Trådkorg VU-SC:45	7% ^A	4 %	3,5%	6%
Lufthalt SS 13 71 24	6%	3%	7,5%	11%
Densitet SS 13 71 25	2350 kg/m ³	2350 kg/m ³	2250 kg/m ³	2100 kg/m ³
Öppethållande	3 h	8 h	8 h	8 h
Tryckhållfasthet SS-EN 196-1	60 MPa (vatten)	65 MPa (vatten)	50 MPa	28 MPa
Borås metoder SS 13 72 44 3B, sötvatten	Mkt god	Mkt god till god	Mkt god	God
Borås metoder SS 13 72 44 3A, saltvatten	God	Inte acceptabel	God	God
CDF – sötvatten. Metod som används vid LTH	-54% efter 100 cykler -74% efter 300 cykler	Sönderfryst – 100 %	- 30% efter 100 cykler -77% efter 300 cykler	-6% efter 100 cykler -12% efter 300 cykler
CIF – saltvatten. Metod som används vid LTH	-	24 kg/m ² efter 56 cykler	2,8 kg/m ² efter 56 cykler 5,1 kg/m ² efter 112 cykler	0,7 kg/m ² efter 56 cykler 1,0 kg/m ² efter 112 cykler

^A Ett värde var lägre än de övriga varvid medelvärdet blev relativt lågt. Dessutom var betongen av trög konsistens.

En ökad lufthalt i en undervattensbetong påverkar de färska egenskaperna genom att utvaskningen ökar något samt att betongen blir mer lättflytande – ökad konsistens.

Vad gäller tryckhållfasthet så minskar denna med ökad lufthalt.

Ovanstående, ökad risk för utvaskning och lägre hållfastheter vid höga lufthalter resulterar i en rekommendation på lufthalt av ca. 8%. Detta verkar vara en lämplig mängd för en frostbeständig undervattensbetong med AUV-medel för både inre frostbeständighet och för kontroll av avflagning.

11.5 Erfarenheter från fältet

För att få en koppling till ”verkligheten” och de omständigheter som förekommer vid gjutning i fält så besöktes två gjutningar. Recepten redovisas inte i rapporten utan den som är intresserad hänvisas till beställaren. Recepten är dock snarlika varandra och de referensrecept som använts vid laboratorieförsöken. Proverna som togs ut i fält gjöts i torrhet i hinkar och förvarades övertäckta, under 5 dygn vattenhärdades provkropparna enligt praxis. Vid 21 dygn borrades kärnor i lämpliga storlekar ut för frostprovning och tryckhållfasthet.

Ett fältbesök utfördes vintertid i Borlänge med Betongindustri som leverantör. AUV-medlet var av typen Sika VUC med vct på 0,5⁷⁰. Konstruktionen som gjöts var ett fundament till en bro över Dalälven. Entreprenör var NCC och beställare var Vägverket. Den andra uppföljningen i fält skedde vid en gjutning av fundament i Stockholm. Även där användes Sikas VUC men betongtillverkaren var Skanska Betong. Vct var 0,5⁷¹. Entreprenör var Skanska och beställare var Banverket.

11.5.1 Resultat från fältet

Resultaten visar att det är svårt att helt efterlikna det som sker i fält vid försök i laboratoriet. Mätvärdena blir ganska så annorlunda vilket påverkar de riktvärden som projektet rekommenderar. Resultatet från gjutningarna presenteras i **tabell 11.3**.

Tabell 11.3. Resultat från gjutningar i fält.

Provningssmetod	Resultat Borlänge	Resultat Stockholm
Vct	0,5	0,5
Sättnått SS-EN 12350-2	270 mm	250 mm
Utbredningsmått SS-EN 12350-5	530 mm	510 mm
Orimet VU-SC:46	13 sek.	12 sek.
Mod. L-låda VU-SC:47	D kvot 0,9	D kvot 0,7
Plunge Test CRD 61 / Trådkorg VU-SC:45	8,7 %	5,8 %
Lufthalt SS 13 71 24	1,9 %	Togs ej p.g.a. fel på utrustning.
Densitet SS 13 71 25	2300 kg/m ³	2300 kg/m ³
Öppethållande	-	-
Tryckhållfasthet EN 12390-3	Ca. 35 MPa (Utborrade ur konstruktion)	Ca. 40 MPa (Utborrade ur konstruktion)
Borrås metoder SS 13 72 44 3B, sötvatten resp. saltvatten.	0,11 kg/m ² (God) resp. 7,26 kg/m ² (Inte acceptabel)	0,04 kg/m ² (Mkt god) resp. 1,09 kg/m ² (Inte acceptabel)
CDF – sötvatten resp. CIF - saltvatten	-	-100% efter 100 cykler resp. -72kg/m ² efter 56 cykler.

⁷⁰ Uppgift från Betongindustri 2002.

⁷¹ Uppgift från Skanska Fabriksbetong 2002.

11.6 Jämförelser färskas egenskaper i diagramform

För att på ett tydligt sätt visa på att de provningsmetoder som används idag för undervattensbetong, sättmått och utbredningsmått, inte helt beskriver de egenskaper som en undervattensbetong ska ha har alla försöksresultat på den färskas betongen sammanställts i diagram.

Diagrammen visar att sättmått och utbredningsmått inte talar om hur väl betongen klarar att gjutas under vatten. Detta kontrolleras bättre genom trådkorg samt L-lådan, se **diagram 11.1**, **11.2** respektive **11.3** och **11.4**. En betong med lågt sättmått visar sig inte vaska ut enligt utförda försök, men en betong med högre sättmått kan både ha egenskaper som visar på god resistens mot utvaskning men exempel finns även på motsatsen. För utbredning gäller att betonger med olika utbredning kan ändå ha samma egenskaper mot utvaskning.

Sättmått och utbredningsmått säger heller inget om den seghet som en undervattensbetong bör ha och förmågan att flyta ut under vatten. Dessa egenskaper kan däremot mätas i den modifierade L-lådan och genom Orimet, se **diagram 11.3** och **11.4** respektive **11.5** och **11.6**. Sättmåtten och utbredningsmåtten kan indikera goda egenskaper, men när betongen placeras i L-lådan flyter den inte ut så som den bör.

Någon direkt koppling i dagsläget mellan Orimet och L-lådan är svår att se, se **diagram 11.7**.

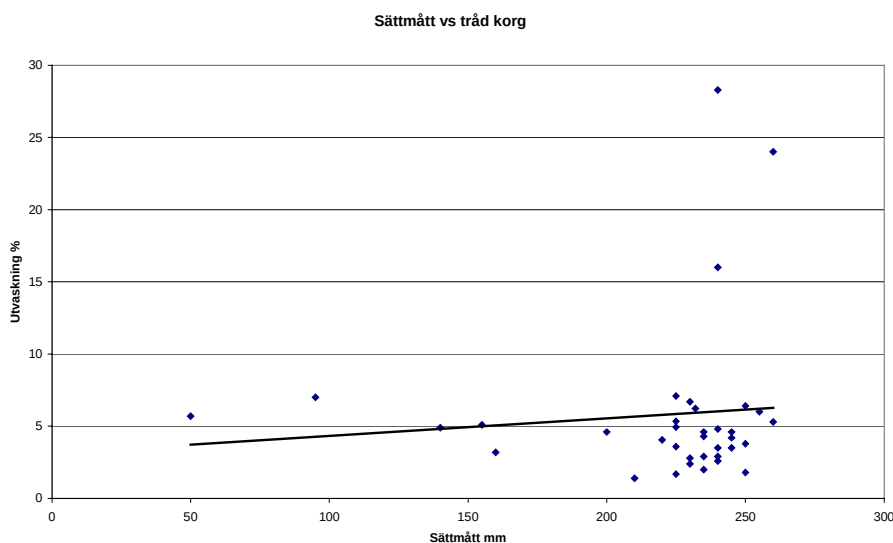


Diagram 11.1. Sättmått jämfört med utvaskning

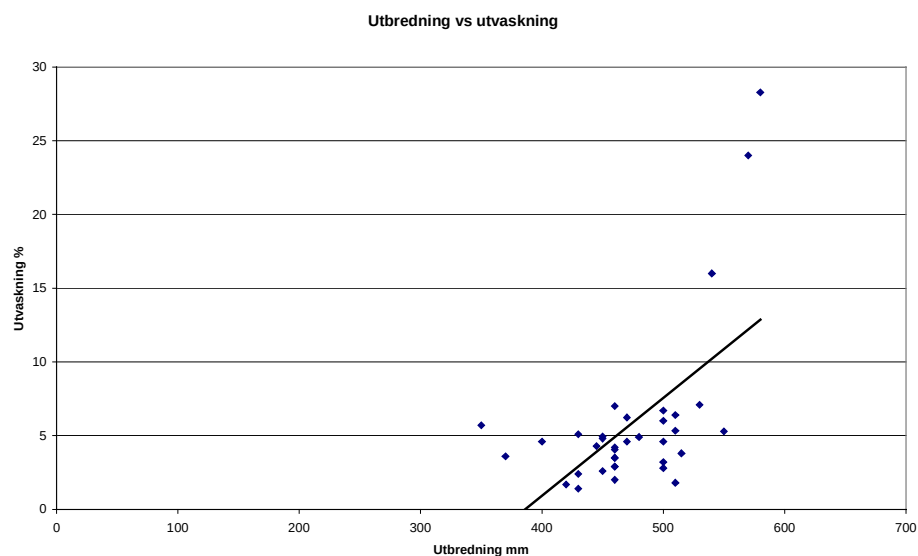


Diagram 11.2. Utbredning jämfört med utvaskning.

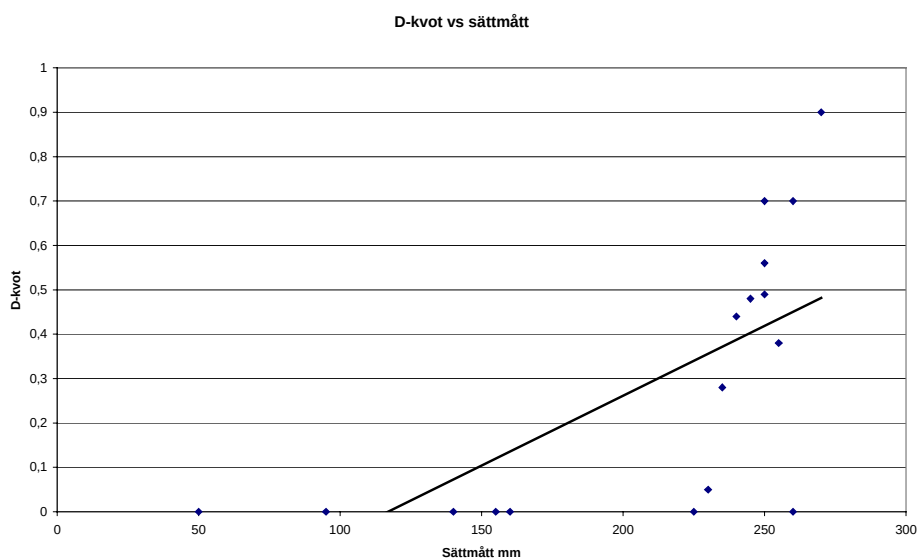


Diagram 11.3. Sättmått jämfört med L-lådan (D-kvot, höjden vid lådans ena ende delat med höjden vid luckan)

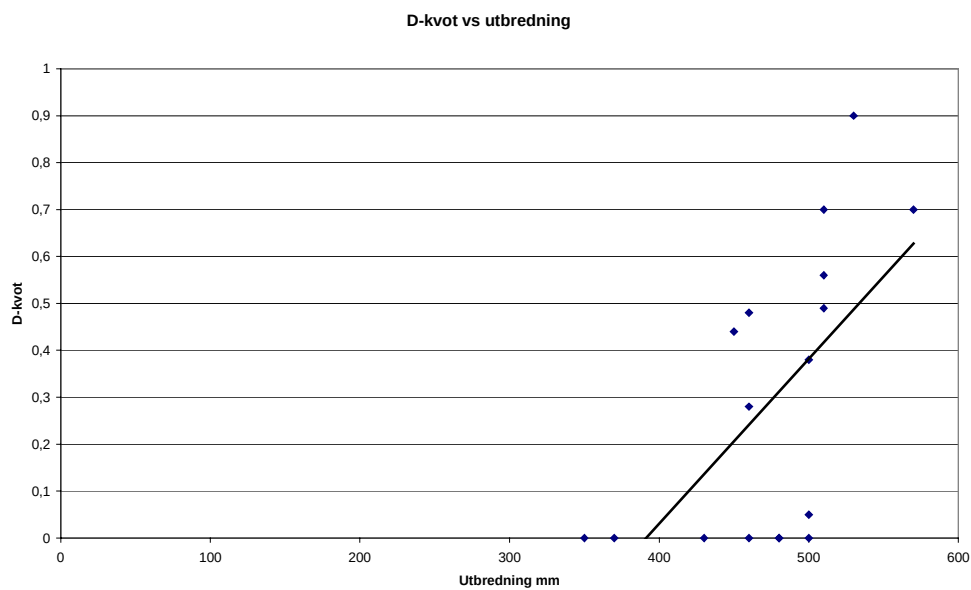


Diagram 11.4. Utbredning jämfört med L-lådan (D-kvot, höjden vid lådans ena ende delat med höjden vid luckan)

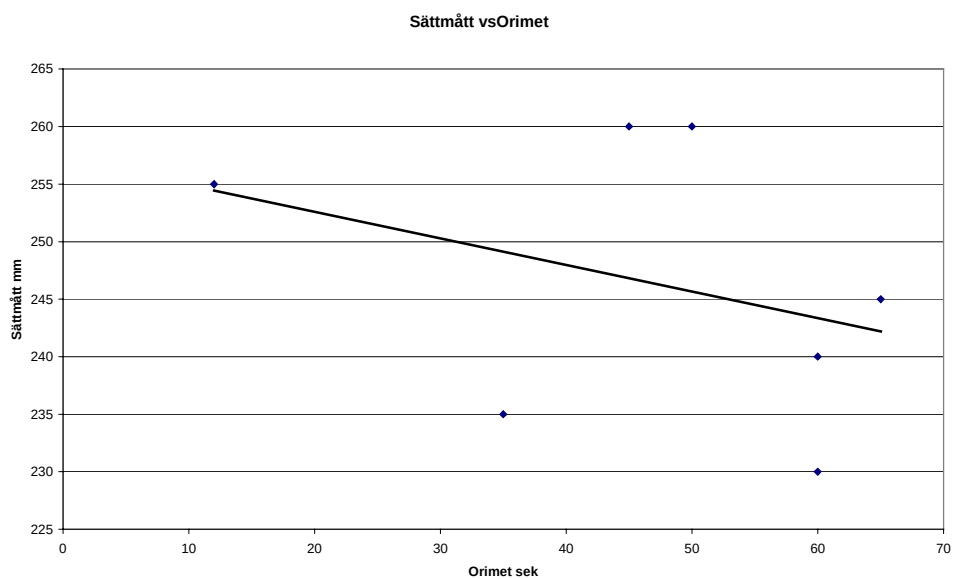


Diagram 11.5. Sättnått jämfört med Orimet.

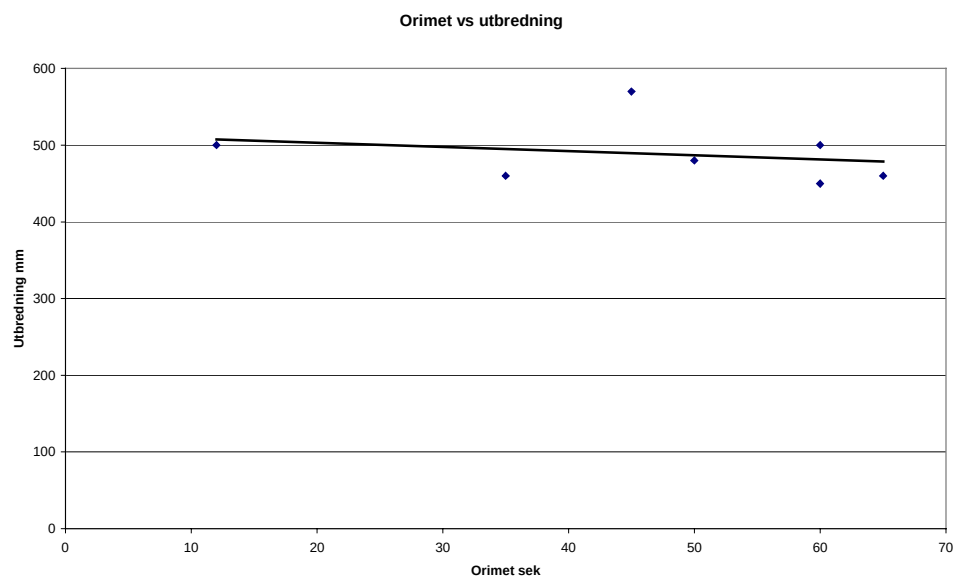


Diagram 11.6. Utbredning jämfört med Orimet.

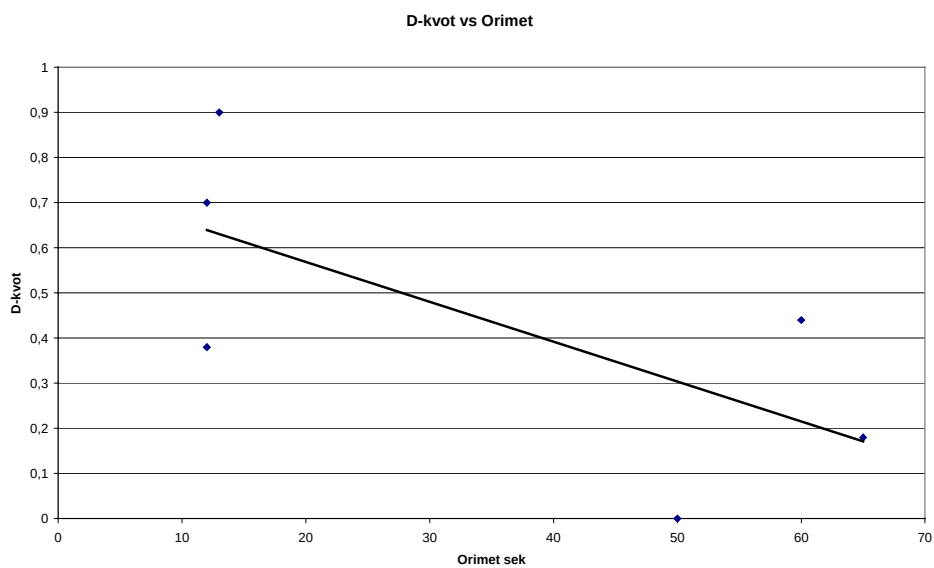


Diagram 11.7. Orimet jämfört med L-lådan (D-kvot, höjden vid lådans ena ende delat med höjden vid luckan).

12 Resultat

Syftet och målet med projektet var att ge ägarrepresentanterna ett verktyg att kontrollera den undervattensbetong som levereras alt. erbjuds dem. Ytterligare ett syfte och mål var att se över AUV-medlens inverkan på frostbeständigheten samt om och hur god frostbeständighet kan erhållas.

Resultatet av utförda försök ger ett färdigt provningsprogram med provningsmetoder samt förslag på riktvärden för de egenskaper som kan föreskrivas en betong som ska gjas under vatten.

Försöken har visat på att de provningsmetoder som används idag, sättmått och utbredningsmått, inte är tillräckligt för att visa på undervattensbetongs egenskaper.

Dessutom har försök visat på att en frostbeständig undervattensbetong med AUV-medel med goda gjutegenskaper i laboriemiljö kan erhållas vid inblandning av luft. Rekommenderad lufthalt där är ca. 8%. Helst inte mycket högre då tryckhållfastheten kan äventyras.

För reparationer har även försök vid LTH med självkompakterande betong gjuten under vatten visat på god frostbeständighet. Vad gäller den självkompakterande betongens egenskaper mot utvaskning är uppgifterna osäkra.

Provningsmetoder och riktvärden har samlats i **tabell 12.1** och **12.2**. Syftet med detta är att ge ett verktyg för beställare och andra involverade i gjutningar med undervattensbetong.

Verktyget kan användas av ägarrepresentanter när de upphandlar sin betong. Ställ krav på de egenskaper som krävs för aktuell situation. Ska betongen vara frostbeständig be då tillverkaren prova frostbeständigheten vid förprovningen samt ta ut prover i konstruktionen.

Tabell 12.1. Provningsmetoder och riktvärden färsk betong.

Egenskap	Provningsmetod	Riktvärde
Arbetbarhet	Sättningsmått SS-EN 12350-2	230-270 mm Utbredning av taget sättningsmått 470-550 mm
Arbetbarhet / Viskositet	Utbredningsmått SS-EN 12350-5	470-600 mm
Arbetbarhet / viskositet	Orimet VU-SC:46	10-30 sek.
Utvaskning / Arbetbarhet	Mod. L-låda VU-SC:47	Endast D kvot godkänns. 0,5-1,0, tiden från start till avslut 10-50 sek.
Utvaskning	Plunge Test CRD 61 / Trådkorg VU-SC:45	< 10%
Lufthalt / Arbetbarhet, frostbeständighet	Lufthalt SS 13 71 24	För betong inte utsatt för frysning finns inga krav på lufthalt. Ska betongen däremot utsättas för frysning bör den egenskapen provas enligt tabell 2.
Densitet	Densitet SS 13 71 25	≥2200 kg/m ³
Öppethållande – härdningsförlopp	Öppethållande	> 6h i fält dock minst 10 h (extra retarder behövs)

Tabell 12.2. Provningsmetoder och riktvärden hårdnad betong.

Egenskap	Provningsmetod	Riktvärde
Hållfasthet	Tryckhållfasthet EN 12390-3 Prov ska både gjas i vatten resp. i luft. Prover gjutna i vatten förvaras fuktigt fram till provning.	Klara C28/35 kravet enligt BRO 2002.
Frostbeständighet söt, ytavflagnings	Borås metoder SS 13 72 44 3B, sötvatten Prov ska både gjas i vatten resp. i luft. Prover gjutna i vatten förvaras fuktigt fram till provning.	God eller bättre.
Frostbeständighet salt, ytavflagnings	Borås metoder SS 13 72 44 3A saltvatten Prov ska både gjas i vatten resp. i luft. Prover gjutna i vatten förvaras fuktigt fram till provning.	God eller bättre.
Frostbeständighet söt inre nedbrytning	CDF – sötvatten. Metod som används vid LTH Prov ska både gjas i vatten resp. i luft. Prover gjutna i vatten förvaras fuktigt fram till provning.	-
Frostbeständighet salt ytavflagnings	CIF – saltvatten. Metod som används vid LTH Prov ska både gjas i vatten resp. i luft. Prover gjutna i vatten förvaras fuktigt fram till provning.	-

Den inriktning som valts för att försöka få en frostbeständig betong var att tillsätta mer luft. Detta efter koncept från internationella försök. Det som skiljer våra sammansättningar mot de internationella är de höga krav på flytbarhet som Vägverket ställer i och med sina fullskaleförsök. Inom vattenkraften finns inte dessa krav ännu,

utan en normal förprovning där egenskaper som krävs undersöks och verifieras. (Planer finns dock på att använda sig utav BRO 2002 även inom detta område.) Resultaten visar att en god frostbeständighet för ytavflagning erhålls för undervattensbetong med AUV-medel. Betongen har då provats att gjuta både i torrhet och i vatten (konstant hög fukthalt så långt som möjligt). Saltfrostbeständighet har erhållits då luftporbildare tillsatts betongen med 1 respektive 2% av cementmängden, d.v.s. 7 resp. 11% lufthalt. Vad gäller inre frostbeständighet har försöken vid LTH visat att frostbeständigheten förbättras betydligt vid sötvatten, saltvatten är dock osäkert.

Fortfarande finns en viss osäkerhet på vilket värde som är godkänt och om metoden för inre frostbeständighet är för tuff eller ej. Ytterligare studier på området måste ske.

13 Diskussion

Projektet om undervattensbetong har trots sin mindre ekonomiska resurser kommit en lång bit på väg inom undervattensbetong området. Det tydliga nyttan är att ett användbart provningsprogram har tagits fram vilket ägarsidan kan hänvisa till. Kravnivåer på uppmätta egenskaper hos aktuell betong finns vilket kan ligga till grund vid upphandlingar. Dessutom har rapporten blivit lite av en "state of the art" rapport vilket får anses som positivt.

13.1 Provningsprogram

De nya metoder som tagits fram och som använts i provningsprogrammet bör skrivas in i BRO 2002 att de ska användas vid förprovning och vid kontroll av gjutningar i fält.

13.2 Frostbeständig undervattensbetong

Vad gäller att ta fram en frostbeständig undervattensbetong har det visat fungera, men det återstår ännu många frågetecken. En orsak till detta kan vara att den metod som använts för inre frostbeständighet är för tuff. Det verkliga scenariot kanske ligger långt ifrån de förhållanden som råder vid provning enligt CDF och CIF metoderna (snarlik Amerikanarnas ASTM). Boråsmetoden har vid tidigare försök visat sig avspegla verkligheten bra, dock finns ingen känd provning utförd på liknande sätt för betong gjuten under vatten som följts upp i fält. Det är viktigt att finna en metod som väl avspeglar verkligheten då en för tuff metod kräver ett dyrare byggande, medan en metod som inte är tillräckligt sträng leder till icke beständiga betongkonstruktioner.

Vid en jämförelse mellan kontroll av ytaavflagning med Boråsmetoden (vatten endast på en sida av provkroppen) och försöken med CDF-metoden (provkroppen helt omgiven av vatten) är skillnaderna i resultat stora, se **diagram 13.1** och **13.2**. Det hela får anses som en jämförande provning blandade satser emellan och inga faktiska resultat. Nedbrytning och avflagning är så mycket högre när provkropparna omges helt av vatten än när endast en sida utsätts för vatten. Trenden är dock den samma, d.v.s. samma betong visar på bättre frostbeständighet vid än jämförelse för båda metoderna. Försöken visar också på att en luftinblandning är en möjlig väg att gå för att erhålla en bättre frostbeständighet.

Däremot har försöken visat att en modifierad självkompakterande betong är frostbeständig även med de tuffa metoder som provningen vid LTH innebär. Dock kan denna betong ha en något större benägenhet att vaska ut, vilket inte kan tolereras.

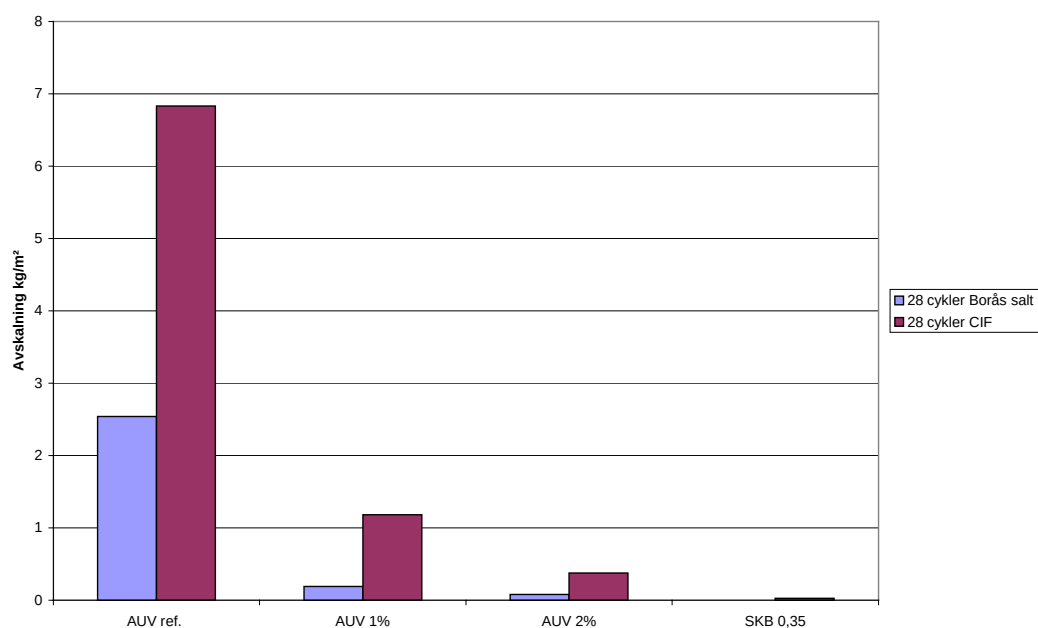


Diagram 13.1. Jämförelse Boråsmetoden (vatten på en sida) med CDF-metoden (omges helt av vatten) efter 28 cykler.

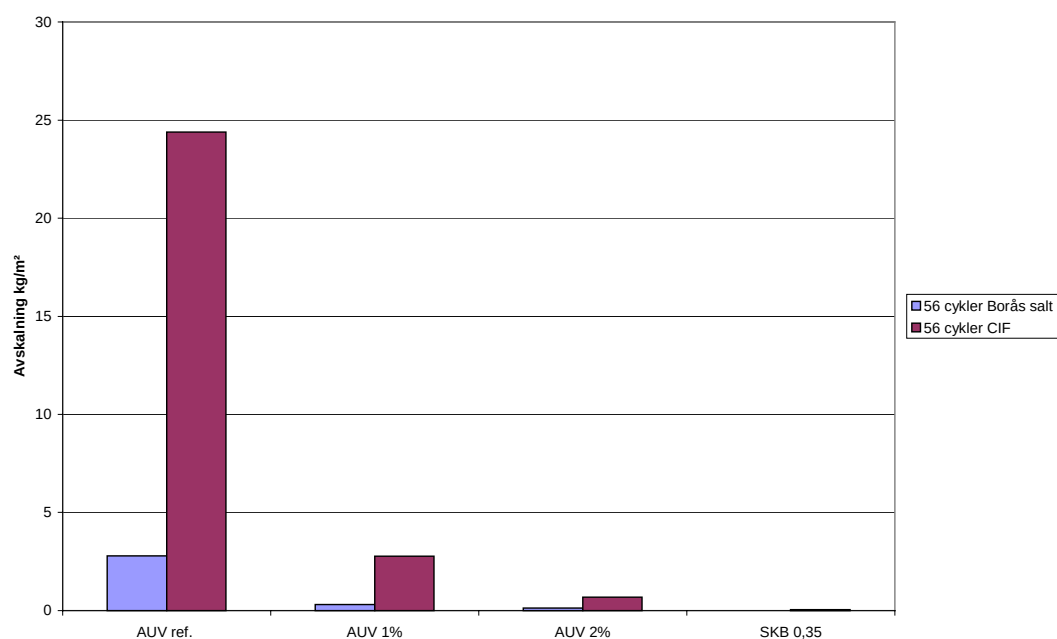


Diagram 13.2. Jämförelse Boråsmetoden (vatten på en sida) med CDF-metoden (omges helt av vatten) efter 56 cykler.

13.3 Fullskaleförsök kontra resultat i fält

Det har visat sig vid en första jämförelse mellan fältet och de fullskaleförsök, som måste genomföras för att ett AUV-medel ska kunna användas Publ. 2002:50, att resultaten

(mätvärden) skiljer sig kraftigt åt. Detsamma gäller hanteringen och blandningsförfarandet. En annan risk är att Vägverkets omfattande och därmed dyrbara provning för godkännande av AUV-medel hämmar utvecklingen och att viss del av denna istället sker i fält och att man därmed frångår koncepten från fullskaleförsöket. Med detta menas mängder, blandningsförfarande, konsistenser etc. Metoden i sig har dock ett viktigt syfte och det är att säkra resultatet av undervattensgjutningar med AUV-medel genom att efterlikna värsta möjliga scenario vad gäller siktkurva och täthet av armering. Detta gör det svårt att från beställarsidan frånga metoden.

14 Slutsats

Avslutningsvis kan sägas att det är en komplicerad process att gjuta under vatten och än svårare är det om man vill göra det under kontrollerade former. Att förekomsten av gjutningar är låg gör saken än värre i och med att erfarenheterna därmed är få. Det har även under den senaste tiden förekommit några fall där vissa problem förekommit vid gjutningar och därmed bör området studeras närmare för att framtida brister ska kunna undvikas och användningsområdena kunna utvecklas. Dessutom bör en kompetens byggas upp eftersom ett behov av detta finns på marknaden.

Mycket av den kunskap som krav och riktlinjer grundar sig på är kunskap som togs fram för ca. 20 år sedan, vilket i sig inte betyder att det alltid är fel, men utvecklingen vad gäller material och tekniker har gått framåt men forskningen har stått stilla. Då menas forskning där fokus är just undervattensbetong. Betonghandboken är ett sådant exempel där viss ny kunskap måste in.

14.1 Fortsatt forskningsbehov

Nedan listas en del områden som bör studeras närmare i framtida forskningsprojekt.

Vad gäller frostbeständigheten visar detta projekt att det krävs en insats från materialtillverkarna för att komma vidare med frostbeständigheten eftersom kombinationen AUV-medel, flyttillsatsmedel och luftporbildare måste kunna fungera ihop och detta arbete måste drivas av materialtillverkarna i kombination med betongforskare.

- ❑ Prova i fält för att få in mer mätvärden för att skapa en erfarenhetsbas av provningsresultat för de nya provningsmetoderna.
- ❑ Studera konsistensen hos betong gjuten under vatten och eventuella följder för utvaskning och bruks- och stenseparation
- ❑ Skriva tydliga rekommendationer för undervattensbetong med AUV-medel (liknande de som finns för självkompakterande betong) via Svensk Betongförening
- ❑ Jämföra fältförsök och fullskala i labb enligt VV Publ. 2002:50
- ❑ Utvärdera reometern som finns hos Vattenfall Utveckling AB för att på ett enkelt sätt kunna utveckla din betong och kontrollera de färska egenskaperna, reologin.
- ❑ Utvärdera olika metoder för frostbeständighet hos undervattensbetong
- ❑ Ta fram en frostbeständig undervattensbetong med goda gjutegenskaper. Förslagsvis i samarbete med en tillsatsmedelstillverkare. De resultat som erhållits måste verifieras och repeterbarheten kontrolleras. Verifiering i full skala vore en bra avslutning.
- ❑ Vidarutveckla L-lådan, jämföra med SKB-lådan
- ❑ Placera provkroppar ute i naturliga vattendrag för att studera betongens nedbrytning i fält kontra i laboratoriemiljö, framförallt i sötvatten.
- ❑ Sprickrisken vid gjutning av grövre konstruktioner.
- ❑ Inverkan av utförandet på framförallt frostbeständigheten – pumpbarhet, vibrering, gjutförlopp etc.

15 Referenser

- [1] *"Assessment of washout resistance of underwater concrete: a comparison between CRD C61 and new MC-1 tests."*
- [2] Auberg R., *"Zuverlässige Prüfung des Frost und Frost-Tausalz. Widerstands von Beton mit dem CDF und CIF Test"*, University of Essen, 1998
- [3] Bartos PJM., *"Assessment of properties of underwater concrete by the orimet test"*, Special concretes – workability and mixing, 1990
- [4] Bartos PJM., Ceza M., *"Assessment of washout resistance of a fresh concrete by the MC-a test"*, 1996
- [5] Bartos PMJ., Khayat KH., Sonebi M., *"Assessment of washout resistance of underwater concrete: A comparison between CRD C61 and new MC-1 tests"*, Materials and structures vol 32, may 1999, p273-281
- [6] Bernstone C., *"Antiurvaskningsmedels inflytande på undervattensgjuten betongs frostbeständighet – en litteraturstudie"*, Elforsk 00:19 , 2000
- [7] Betonghandboken, *"Material"*, Svensk Byggtjänst, 1994
- [8] Betonghandboken, *"Arbetsutförande"*, Svensk Byggtjänst, 1994
- [9] Björkenstam, E., *"Workshop – undervattensbetong"*, Vattenfall Utveckling AB, US 00:05, 2000

Björkenstam, E., *"Besök i Kanada för projektet undervattensbetongs räkning"*, Vattenfall Utveckling AB, US 00:42, 2000
- [10] Björkenstam E., *"Provning av undervattensbetong med antiutvaskningsmedel, SIKA"*, UC 99:6, Vattenfall Utveckling AB, 1999
- [11] Boverket, *"BBK 94 – Betongkonstruktion"*, kapitel 8.5
- [12] Byfors K., Hedin C., *"Gjutning med undervattensbetong"*, Masterbuilders Scandinavia AB resp. Betongindustri AB, 1991
- [13] Davies B A., *"Laboratorie methods of testing concrete for alkacement underwater"*, Marine Concrete, '86, The concrete society, 9 279-286, 1986
- [14] Hansson P., *"Frostbeständighet hos undervattensbetong"*, Vattenfall Utveckling AB, 1995

-
- [15] Hansson P., *Undervattensbetongs vidhäftning till gammal betong*", Elforsk rapport 95:5B, Stockholm 1995
- [16] Khayat K.H., *"Effects of Antiwashout Admixtures on Fresh Concrete Properties"*, ACI Structural Journal, March- April 1995, p 164-171
- [17] Khayat K.H., Sonebi M., *"Effect of water velocity on performance of underwater self- consolidating concrete"*, ACI Materials Journal 1999 v. 96 n 5 Sep.-Oct., p 519-528
- [18] Khayat K.H., *"Frost Durability of Concrete Containing Viscosity-Modifying Admixtures"*, ACI Materials Journal Nov.-Dec. 1995, p 625-633
- [19] Lagerblad B., Utkin P., *"Silica granulates in concrete – dispersion and durability aspects"*, CBI 3:93, 1993
- [20] Luping T., Bager D., Jacobsen S., m.fl., *"Evaluation of the Modified Slab Test for Resistance of Concrete to Internal Frost Damage"*, Nordtest Project No. 1485-00, SP Report 2000:34
- [21] McLeish A., *"Underwater concreting and repair"*, 1994
- [22] Nordenswan E., Westergren P-E., *"Undervattensgjutning – Provgjutningar med betong-tillsatsen Hydrocem och för undervattensgjutning anpassad referensbetong."*, A/S Scancem Chemicals och Vägverket, 1986.
- [23] Norsk Betonforenings Publikasjon nr 5, *"Prosjektering og utførelse av betongkonstruksjoner i vann"*, 1994
- [24] Persson B., *"Beständig dammreparation med undervattensgjuten självkompakterande betong"*, SBUF-formas-projekt, LTU, 2002 (Preliminär rapport)
- [25] *Pumpad undervattensbetong, Undervattensgjutning – Provgjutningar med betong-Fältförsök med tillsats av vattenavvisande medel*", Vägverket, Abetong – Sabema och Rescon AS, 1984.
- [26] Sahlström A., *"Grundkurs i reologi – kapitel 2 - Inledning till reologinbegreppet"*, Calmia, 1995
- [27] SS 13 72 44, Frostbeständighet, Svensk Standard.
- [28] Vägverket, *"Allmän teknisk beskrivning för broar Bro 2002, kapitel 46"*, 2002

- [29] Vägverket, *"Utbildningsplan – Undervattensgjutning av betong"*, VV Publ. 2002:51, 2002
- [30] Vägverket, ,Publ. 2002:50,2002

A Projektbeskrivning – Självkompakterande betong gjuten under vatten

Projektansökan till BFR och SBUF: ”Beständig dammreparation med undervattengjuten självkompakterande betong”.

Bakgrund

Betong som inte behöver tillföras någon kompakteringsenergi för att omsluta armeringen och fylla ut formen, har av uppenbara anledningar dragit åt sig stort intresse från marknaden framförallt under de senaste tre åren. Intresset för självkompakterande betong har uppstått mycket tack vare en offensiv satsning från Cement- och Betong Institutets och Vägverket. Vägverket har tillverkat ett tjugotal broar enligt uppgift med gott resultat [1]. Ett par tunnlar i berg har gjutits med den nya tekniken. Tekniken har också med framgång introducerats för konventionellt bostadshus- och kontorsbyggnad. De entreprenörer som konsekvent genomfört projekt med den nya tekniken har rapporterat kostnadsbesparingar varierande mellan 6 och 10% jämfört med kostnaderna vid användning av normal betong [2]. Kvalitetsförbättringarna har också varit uppenbara. Bättre ytor med en lägre porositet och större homogenitet har uppnåtts.

Vad gäller anläggningsbyggandet är situationen delvis annorlunda. Livslängdskraven är högre samt påfrestningarna betydligt större för anläggningskonstruktioner än för huskonstruktioner. Det krävs därför en betydligt högre nivå på dokumentationen av betongens egenskaper för anläggningskonstruktioner än för huskonstruktioner. Det finns nu erfarenhet från broar och andra fullskaleobjekt i Sverige. Resultat från mätningar av egenskaper har redovisats i forskningsrapporter bl.a. vid RILEM-symposiet i Stockholm i september, 1999 [3]. Vid undervattensgjutning används vanligtvis tillsatser av så kallade utvaskningsmedel i betong [4]. Dessa tillsatser innebär att lufthalten i betong inte längre kan hållas på en stabil nivå. När den undervattensgjutna betongen sen fryser på uppströmssidan av en damm (under vattnet) uppstår stora frostsador. Vid reparation av dessa skador kan självkompakterande betong komma till användning. Förutsättningen är att betongen kan gjutas utan problem.

Avgränsningar

Följande problemområden kvarstår att utreda:

1. den undervattensgjutna självkompakterande betongens tidiga egenskaper
2. gjutbarhet hos självkompakterande betong under vatten
3. inre frostbeständighet hos undervattengjuten självkompakterande betong
4. variationer i lufthalt i undervattengjuten betong inom samma gjutning beroende av tillsatser av utvaskningsmedel

Tidiga egenskaper och variationer i lufthalt hos självkompakterande betong har delvis utretts av docent Bertil Persson, LTH Byggnadsmaterial, Lund [5,6]. Föreliggande projektet inriktas helt på beständighetsrelaterade aspekter hos undervattengjuten betong baserad på anläggningscement avsedd för reparation av dammar.

Mål

Föreliggande projekt syftar till att

1. dokumentera den undervattensgjutna självkompakterande betongens tidiga egenskaper, med syfte att ge riktlinjer för val av lämpliga delmaterial vid tillverkning av en självkompakterande betong i nämnda applikation.
2. undersöka gjutbarheten hos självkompakterande betong under vatten under produktion med syfte att ge riktlinjer för val av delmaterial, betongrecept och produktionssätt vid tillverkning av självkompakterande betong.
3. undersöka inre frostbeständigheten hos en undervattengjuten självkompakterande betong med syfte att ge riktlinjer för val av delmaterial, betongrecept och produktionssätt vid tillverkning av självkompakterande betong.
4. undersöka orsaker till variationer i lufthalt i undervattengjuten betong i jämförelse med en normal undervattengjuten betong med utvaskningsmedel med syfte att ge riktlinjer för val av delmaterial, betongrecept och produktionssätt vid tillverkning av självkompakterande betong.

Experimentella studier

Mätningar av inre frostbeständighet och egenskaper i färskt tillstånd hos självkompakterande betong före och efter undervattensgjutning utförs i laboratorium. I tabell 1 ges en sammanställning av antalet studerade cylindrar och kuber, ca 100 st. av vardera provkroppstypen. Följande parametrar studeras:

1. Fillerandel (0.05 och ca 0.10)
2. Fillertyp (devonkrita från Ignaberga och kalksten från Köping)
3. Lufthalt (4 och 8%)

Tabell 1 - Sammanställning av antalet studerade provkroppar.

Studie	Fillerandel	Fillertyp	Lufthalt	Provserie	Antal prover
Hållfasthet	2	2	2	3	36 (cylindrar + kuber)
Gjutbarhet	2	2	2	1	24 provningar
Inre frost	2	2	2	3	36 cylindrar
Lufthalt	2	2	2	3	36 planslip

Följande studier kommer att genomföras:

1. Experimentella studier av egenskaper i färskt tillstånd före och efter undervattensgjutning. Parallella studier av hållfasthet. *Målet* för denna studie är att jämföra egenskaper i färskt tillstånd hos undervattengjuten självkompakterande betong med varierande lufthalt och ballastandel tillverkad med två olika filler med motsvarande egenskaper hos normal undervattengjuten betong.
2. Experimentella studier av gjutbarhet under vatten med hänsyn till utvaskning, kompaktering, densitet och hållfasthet. Gjutningen utförs under vatten i stora behållare mot en bilad vertikal betongyta allt i syfte att efterlikna verkligheten. Provuttagning sker genom att borring utförs vinkelrätt mot den bilade ytan i syfte att även studera fasgränsen mellan gammal och ny gjutning. *Målet* för denna studie är att jämföra egenskaper i färskt och härdat tillstånd hos en undervattengjuten

- självkompakterande betong med varierande lufthalt och ballastandel tillverkad med två olika filler med motsvarande egenskaper hos normal undervattengjuten betong.
3. Experimentella studier av inre frostbeständigheten under 300 fryscykler hos prover borrhade ur undervattengjuten betong. Mätning sker av dynamisk E-modul och resthållfasthet. Betong från samma tillverkningsplats studeras med start vid 28 dygns ålder. Betongens hårdnande sker i stora behållare för att i största möjliga utsträckning efterlikna verkliga förhållanden för undervattensgjutna konstruktioner. Provuttagning sker genom att borrhning utförs vinkelrätt mot den bilade ytan i syfte att även studera fasgränsen mellan gammal och ny gjutning. *Målet* för denna studie är att jämföra den inre frostbeständigheten hos undervattengjuten självkompakterande betong med varierande lufthalt och ballastandel tillverkad med två olika filler med motsvarande egenskaper hos normal undervattengjuten betong.
 4. Experimentella studier av luftporfördelning hos planslip från undervattengjuten självkompakterande betong. Provuttagning sker genom att borrhning utförs vinkelrätt mot den bilade ytan i syfte att även studera fasgränsen mellan gammal och ny gjutning. *Målet* för denna studie är att jämföra luftporfördelningen hos undervattengjuten självkompakterande betong med varierande lufthalt och ballastandel tillverkad med två olika filler med motsvarande egenskaper hos normal undervattengjuten betong.
 5. Verifiering av laboratorieresultaten genom fältstudier, vilka genomförs i samarbete med Skanska Sverige AB - Asfalt och Betong - och Vattenfall Utveckling AB (ett associerat projekt). Särskild vikt ägnas åt inverkan av produktionstekniska faktorer som gjuthastighetens och gjutsättets inverkan på luftporsystemet och frostbeständigheten samt blandnings- och gjutteknikens inverkan på homogenitet och utvaskningsrisk. Fältstudierna kommer att genomföras på dammar i samarbete med Vattenfall Utveckling AB. *Målet* för fältförsöken är att jämföra frostbeständighet, luftporsystem och egenskaper i färskt tillstånd hos självkompakterande betong gjuten i fält med motsvarande egenskaper hos betong tillverkad i laboratorium.

Associerat projekt

I ett associerat projekt studeras de mekanismer som ger en förbättrad frostbeständighet hos undervattengjuten självkompakterande betong relativt normal betong. Detta är av stor betydelse att skapa ökad kunskap om orsaken till den nedbrytande mekanismen vid frysning under vatten. Projektet finansieras helt av Vattenfall Utveckling AB.

Provningsmetoder

Följande provningsmetoder kommer att användas:

1. Standardkon enligt Abrams (utbredningsmått)
2. L-box enligt Cement och Betong Institutet, Stockholm (blockering)
3. Separationscylinder enligt en japansk metod.
4. Viskositetsmätare (V-tunnel) enligt en japansk metod
5. Lufthaltsmätare
6. ASTM 666 (i princip) på utborrhade cylindrar från betong gjuten i full skala
7. Luftporanalyser på planslip från betong gjuten i full skala

8. Hållfasthet utborrade och avplanade cylindrar med standardtryckpress
9. Dynamisk elasticitetsmodul med Grindosonicmätare (inre egenfrekvensen)

Analys

1. En teoretisk jämförelse av frostbeständighet, luftporsystem och egenskaper i färskt tillstånd hos i fält undervattengjuten självkompakterande betong med motsvarande egenskaper hos betong tillverkad i laboratorium. *Målet* med denna studie är att beskriva undervattengjuten självkompakterande betong med varierande lufthalt och ballastandel tillverkad med två olika filler.
2. Modellering av frostbeständighet samt egenskaper i färskt tillstånd hos undervattengjuten självkompakterande betong. *Målet* med denna studie är att beskriva egenskaperna hos självkompakterande betong som funktion av vct, lufthalt och fillertyp.

Resurser

I tabell 2 ges en sammanställning av kostnader för projektet.

Tabell 2 – Sammanställning av kostnader för projektet.

Typ av kostnad		Kostnad (tkr)
<u>LTH:</u>	Foing. Stefan Backe (15%)	100
	Instrumentmak. Ingemar Larsson (15%)	100
	Foing. Bengt Nilsson (15%)	100
	Docent Bertil Persson (40%)	360
	Utrustning, resor, etc.	140
Delsumma LTH		800
<u>Skanska Sverige</u>		
Fullskaleförsök		300
Rådgivning		50
<u>Vattenfall Utveckling AB (ass. projekt):</u>		
Laboratoriestudier i egen laboratorium		150
Totalt (tkr)		1300

Finansieringsplan

Tabell 3 visar en sammanställning av projektets finansiering.

Tabell 3 – Sammanställning av projektets finansiering.

Finansiär	BFR	SBUF	Skanska	Vattenfall	Summa (tkr)
LTH	600	200			800
Skanska		200	150		350
Vattenfall				150	150
Totalt	600	400	150	150	1300

Organisation

Projektledare, laboratorieförsök: Bertil Persson, LTH, Avd. Byggnadsmaterial, Lund:
Ansvarig för fältförsök: Ulf Jönsson, Skanska Sverige AB, Malmö
Associerat projekt: Jan Alemo, Vattenfall Utveckling AB (ass. projekt)

Referensgrupp

Ulf Jönsson, Skanska Sverige AB
Göran Fagerlund, LTH, Lund
Patrik Groth, NCC Industri, Solna
Jan Alemo, Vattenfall Utveckling AB (ass. projekt)

Styrgrupp

Ulf Jönsson, Skanska Sverige AB, Malmö
Jan Alemo, Vattenfall Utveckling AB (ass. projekt)
Göran Fagerlund, LTH, Lund

Tidplan

Huvuddelen av arbetet kommer att utföras första året efter det att anslag har beviljats. Försöken beräknas vara avslutade efter 1½ år, då en slutrapport kommer att utges.

Referenser

- [1] M Nilsson, Ö Petersson. Europas första bro i vibreringsfri betong. Väg- och Vattenbyggaren 2/98, 28-31.
- [2] L Söderlind. Fullskaleförsök med husbyggnadsbetong. "Full-scale tests for housing" Första internationella RILEM-symposiet om självkompakterande betong. Stockholm. Red.: Skarendahl and Petersson. 1999, 723-728.
- [3] L Tang, A Andalen and J O Johansson. Kloriddiffusion hos självkompakterande betong. "Chloride diffusivity of self-compacting concrete." Första internationella RILEM-symposiet om självkompakterande betong. Stockholm. Red.: Skarendahl and Peterson. 1999, 188-198.
- [4] J Alemo. Personlig information. Vattenfall Utveckling AB., Gävle. 2000.
- [5] B Persson. SBUF-projektet: Frostbeständighet och kloridinträngning hos självkompakterande anläggningsbetong. Arbetsrapport 0011:03. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 2000, 14 sid.
- [6] B Persson. "Creep, Shrinkage and Elastic Modulus of Self-compacting Concrete." Första internationella RILEM-symposiet om självkompakterande betong. Stockholm. Red.: Skarendahl and Peterson. 1999, 239-250.
- [7] R Andersson, L-G Nilsson: Självkompakterande betong i prefabriceringsindustrin – en teknisk och ekonomisk analys. Rapport TVBM-5039. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1999, 48 sid.

- [8] C Dieden: Självkompakterande husbyggnadsbetong - sammansättning, hållfasthet och krympning.” Report TVBM-5040. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1999, 50 sid.
- [9] A Pujol (Hugas). Sammansättning och egenskaper hos självkompakterande betong. ”Mix Design and Properties of Self-Compacting Concrete.” Rapport TVBM-5041. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 1999, 56 sid.
- [10] M Charkas and W Fayli. Material- och produktionstekniska studier av självkompakterande betong med glasfiller. Rapport TVBM-5042. LTH Byggnadsmaterial. Lund. 2000, 80 sid.

B Sammanställning av genomförda fullskaleförsök

GK – Värdena är godkända enligt VV Publ 2002:50.

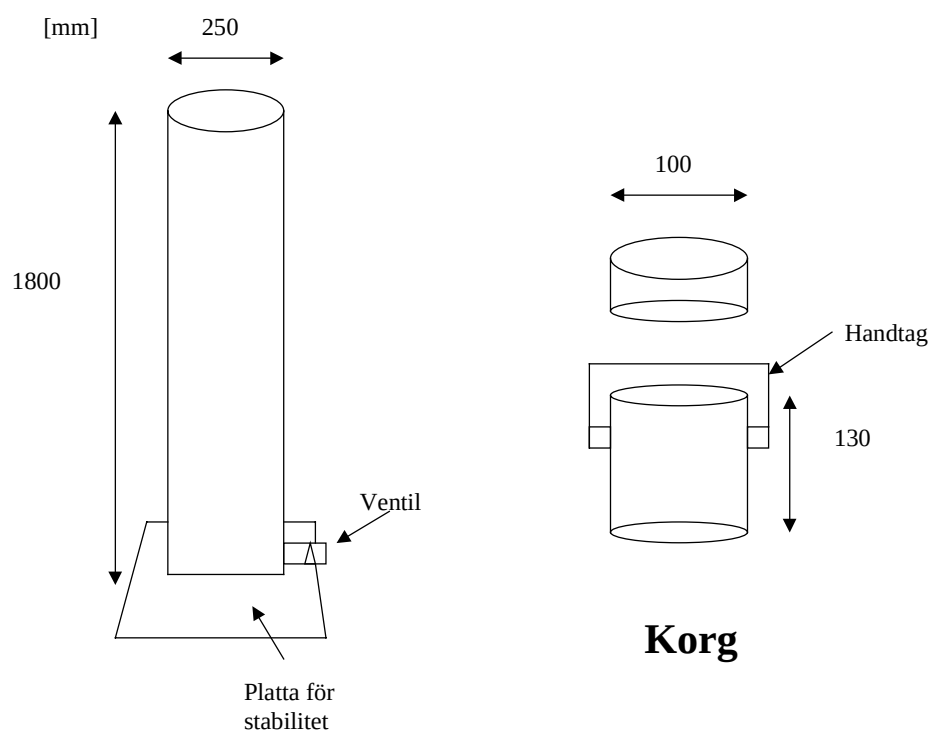
UK – Värdena är underkända enligt VV Publ 2002:50.

	Rescon T 1984	Rescon T & Silika 1984	Hydrocem 1986	Hydrogel 1990	Hydrogel & Silika 1990	Hydrogel 1993	X 1999	Sikas 1999	X 2002
Cement- mängd							400 kg/m ³	400 kg/m ³	400 kg/m ³
Vct							0,5	0,5	0,53
Sättnått							270 mm	220 mm	240-220 mm
Utbrednings mått							590 mm	550 mm	490 mm
Tillsatt mängd AUV- medel [kg/m ³]							2 kg/m ³	2 kg/m ³	-
Typ av AUV- medel	Cel.	Cel.	Cel.	Cel.	Cel.	Cel.	Cel.	Cel.	Cel.
Nivåskillnad formtyp 1 [cm]							2,5 GK	3,0 GK	UK
Nivåskillnad formtyp 2 [cm]							4 GK	9,5 GK	UK
Hållfasthet kuber, medelvärde enl. BBK [Mpa]	48,2 GK	55,7 GK	57 GK	42 GK	49 GK	52,1 GK	56 GK	53 GK	-
Hållfasthet kuber, enskilt värde enl. BBK [Mpa]	47,4 GK	55,4 GK	57 GK	42 GK	49 GK	50,7 GK	54 GK	52,6 GK	-
Hållfasthet cylindrar, medelvärde enl. BBK [Mpa]			51,3 GK	39,9 GK	46,9 GK	44,8 GK	43 GK	46,3 GK	-
Hållfasthet cylindrar, enskilt värde enl. BBK [Mpa]			49,2 GK	35,4 GK	43,7 GK		29 GK	40,3 GK	-
Hållfasthet, cylindrar, variationsko- efficient alla cylindrar enl. BBK [%]			2,8 GK	6,6 GK	2,9 GK	4,9 GK	13,7 UK	5,0 GK	-

ELFORSK

Hållfasthet, cylindrar, variationsko efficient inom kärna enl. BBK [%]			4,1 GK	11,2 UK	3,1 GK		23,7 UK	9,9 GK	-
Ballastinneh åll i slam [vikt-%]							>50 GK	>50 GK	-

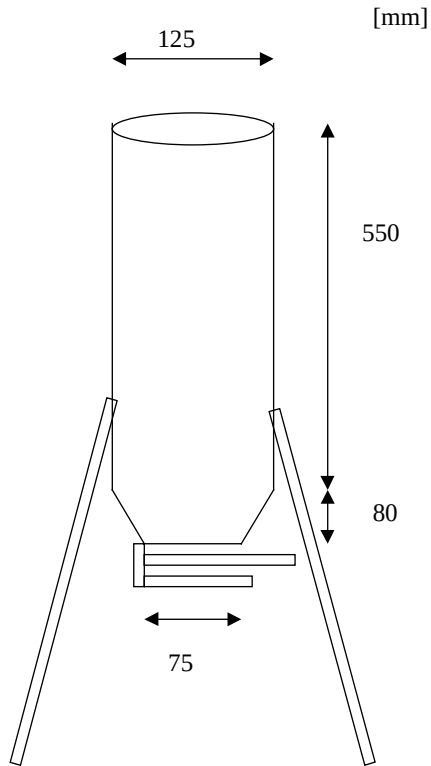
C Ritningar av provningsutrustning



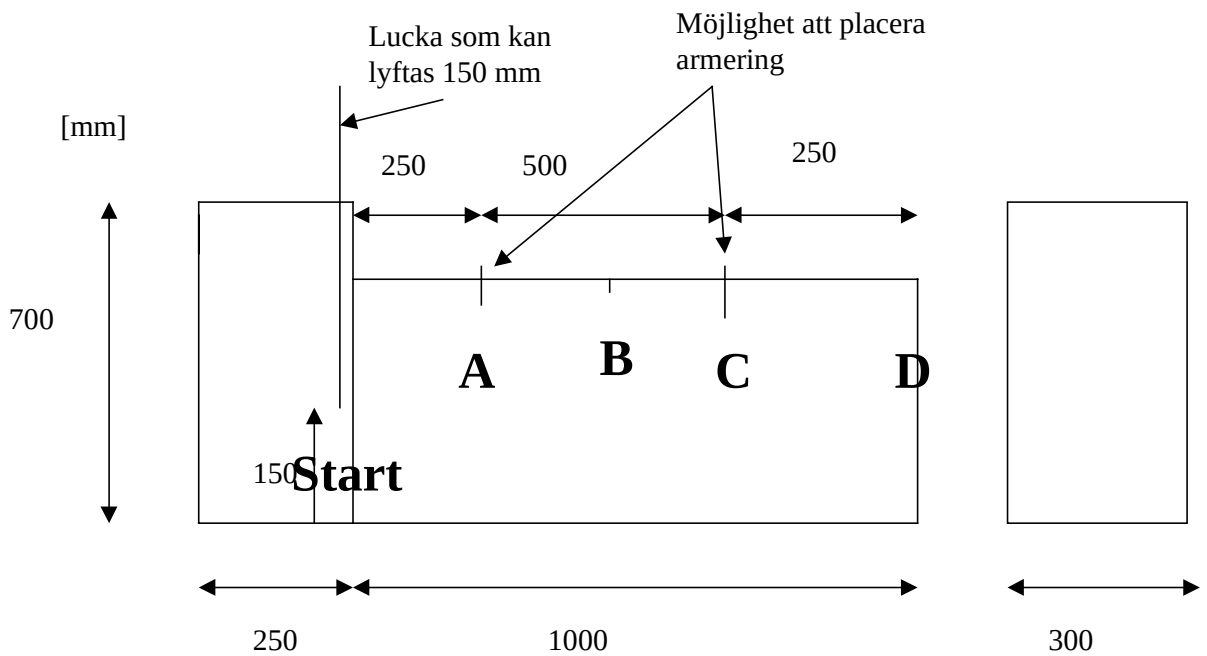
Mätrör

VU-SC:45 Urvaskningstest med trådkorg – CRD-61:

VU-SC:46 Flytbarhet – Orimet:



VU-SC:47 L-låda för undervattensbetong



D Recept och försöksresultat

Steg 1:

	Btg med AUV-medel	UV-btg utan AUV-medel	K 40 btg
	Steg 1	Steg 1	Steg 1
Recept:	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
Cement	400	400	380
Summa ballast	1694	1725	1716
Vatten	200	200	210
Flyt	6	6	-
Luft	-	-	-
AUV	2	-	-
Retarder	-	2,4	-
Filler	-	-	-
Vct	0,5	0,5	0,55
Färskas egenskaper:			
Direkt:			
Sättmått:	250 mm	155 mm	95 mm
Utbredningsmått:	51 cm	43 cm	46 cm
Efter 1 timme:			
Sättmått:	-	-	-
Utbredningsmått:	-	-	-
Efter 2 timme:			
Sättmått:	-	-	-
Utbredningsmått:	-	-	-
T50:	-	-	-
L-låda:	-	-	-
H2/H1 = svar	-	-	-
Tid 1 / tid 2	-	-	-
Orimet:	4 sek.	2,5 sek.	2 sek.
Lufthalt:	-	-	-
Färsks densitet:			
Drop test:			
1	0,6%	7,0%	3,7%
2	3,2%	5,3%	7,3%
3	1,7%	3,0%	10,0%
4	-	-	-
Medel:	1,8%	5,1%	7,0%
Ph:	11,2	11,46	11,78
Lådan:	Hela bra flyt!	Endast en liten bit!	Endast en liten bit!
Tid - avstannat:	90 sek	120 sek	60 sek
(Höjd vid avslut/flyt tid)			
B-kvot	0,8	0,54	0,5
D-kvot	0,56	-	-
Start			
A	125 mm / 0 sek	130 mm / 0 sek.	100 mm / 0 sek.
B	100 mm / 3 sek.	70 mm / ? sek.	50 mm / ? sek.
C	88 mm / 7 sek.	-	-
D	70 mm / 20 sek.	-	-
Härddningstid enl. temp.			
Härdade egenskaper:			
Hållfasthet:			
7 dygn i vatten	-	-	-
Densitet:	-	-	-
28 dygn i vatten	-	-	-
Densitet:	-	-	-
28 dygn i luft	58,2 Mpa	54 Mpa	48,2 Mpa
Densitet:	2400 kg/m ³	2350 kg/m ³	2350 kg/m ³
Borås:			
Söt:			
Frost:			
Torkad:	-	-	-
28 d	-	-	-
56 d	-	-	-
Våt:	-	-	-
28d	-	-	-
56 d	-	-	-
Inre:	-	-	-

Steg 2:

	UV Normal 27/9	UV AUV 8/10	SCC I 8/10	UV AUV 11/10	UV AUV 32 11/10
	Steg 2	Steg 2	Steg 2	Steg 2	Steg 2
Recept:	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³
Cement	405	386	371	384	414
Summa ballast	1749	1666	1639	1783	1741
Vatten	206	302	179	194	205
Flyt	6,1	6,8	4,8	5,8	6,6
Luft	-	-	0,37	-	-
AUV	-	7,7	-	1,9	2
Retarder	2,4				
Filler	-	-	173	-	-
Vct	0,51	0,78	0,48	0,51	0,49
Färska egenskaper:					
Direkt:					
Sättnått:	160 mm	235 mm	260 mm	230 mm	250 mm
Utbredningsmått:	51 cm	46 cm	57 cm	50 cm	51 cm
Efter 1 timme:					
Sättnått:	75 mm	235 mm	-	230 mm	240 mm
Utbredningsmått:	40 cm	43 cm	-	38 cm	-
Efter 2 timme:					
Sättnått:	-	230 mm	-	-	-
Utbredningsmått:	-	41,5 cm	-	-	-
T50:	-	-	18 sek.	-	-
L-låda:					
H2/H1 = svar	-	-	7/7,5=0,93	-	-
Tid 1 / tid 2	-	-	17 sek. / 41 sek.	-	-
Orimet:	10 sek.	35 sek.	45 sek.	60 sek.	-
Lufthalt:	3,4%	1,8%	6,0%	3,8%	3,0%
Färsk densitet:	2250 kg/m³	2250 kg/m³	2300 kg/m³	2350 kg/m³	2350 kg/m³
Drop test:					
1	4,5%	2,9%	25,0%	3,0%	6,6%
2	2,8%	2,2%	24,0%	3,7%	6,0%
3	2,9%	3,5%	23,0%	1,3%	6,0%
4	2,4%	2,8%	"5%" (+40 min)	3,0%	7,1%
Medel:	3,2%	2,9%	24,0%	2,8%	6,4%
Ph:	11,17	10,3	11,36	-	-
Lådan:	Endast en liten bit!	Hela lådan!	Hela lådan!	Hela lådan!	Hela lådan!
Tid - avstannat:	4 sek.	5 min	3 min	1,5 min	1,5 min
(Höjd vid avslut/flyt tid)					
B-kvot	0,58	0,96	0,91	0,94	0,85
D-kvot	-	0,28	0,7	0,05	0,49
Start	130 mm/0 sek.	130 mm/0 sek.	125 mm/0 sek.	130 mm/ 0 sek.	135 mm/0 sek.
A	75,5 mm/ 1 sek.	125 mm/14 sek.	115 mm/4 sek.	122 mm/7 sek.	115 mm/ 2 sek.
B	50 mm/2 sek.	100 mm/ 21 sek.	105 mm/8 sek.	95 mm/14 sek.	100 mm/5 sek.
C	0 mm /4 sek.	72 mm/35 sek.	93 mm/15 sek.	55 mm/26 sek.	87 mm/10 sek.
D	-	35 mm/ 1 min.	80 mm/20 sek.	7 mm/95 sek.	66 mm/24 sek.
Härdningstid enl. temp.	8-10 h	>2 dygn	8-10 h	8-10 h	8-10 h
Härdade egenskaper:					
Hållfasthet:					
7 dygn i vatten	18 Mpa	10,5 Mpa	43,7 Mpa	35,2 Mpa	38,2 Mpa
Densitet:	2250 kg/m³	2250 kg/m³	2300 kg/m³	2300 kg/m³	2350 kg/m³
28 dygn i vatten	32,7 Mpa	18,9 Mpa	51,6 Mpa	49,0	54,1 Mpa
Densitet:	2250 kg/m³	2150 kg/m³	2300 kg/m³	2350 kg/m³	2400 kg/m³
28 dygn i luft	59 Mpa	25,5 Mpa	75,9 Mpa	64,6 Mpa	67,8 Mpa
Densitet:	2250 kg/m³	2100 kg/m³	2300 kg/m³	2300 kg/m³	2350 kg/m³
Borås:					
Söt:					
Frost:					
Torkad:	Mkt god	Mkt god	Mkt god	Mkt god	Mkt god
28 d	0,03 kg/m²	0,00 kg/m²	0,00 kg/m²	0,03 kg/m²	0,04 kg/m²
56 d	0,04 kg/m²	0,01 kg/m²	0,00 kg/m²	0,06 kg/m²	0,05 kg/m²
Våt:	Mkt god	God	Mkt god	Mkt god	Mkt god
28d	0,02 kg/m²	0,10 kg/m²	0,01 kg/m²	0,05 kg/m²	0,04 kg/m²
56 d	0,02 kg/m²	0,11 kg/m²	0,01 kg/m²	0,08 kg/m²	0,05 kg/m²
Inre:	-76,1 (Hz)	sönderfryst -100 (Hz)	sönderfryst -1,9 (Hz)	Hel -100 (Hz)	sönderfryst -100 (Hz)

Steg 3:

25 liters satser

	AUV m luft 8/11	UV m WG 8/11	AUV m silika 8/11	AUV m luft silika 8/11	UV m WG 9/11
Recept:	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
Cement	410	400	410	410	396
Summa ballast	1656	1678	1635	1635	1674
Vatten	220	220	224	217	220
Flyt	6	6	7	7	7
Luft	6	-	-	7	-
AUV	2	0,43 WG	2	2	0,74 WG
Retarder	-	-	-	-	-
Filler	-	-	21	21	-
Vct	0,54	0,55	0,52	0,53	0,56
Färska egenskaper:					
Direkt:					
Sättnått:	260 mm	180 mm	240 mm	250 mm	210 mm
Utbredningsmått:	55 cm	33 cm	46 cm	51,5 cm	43 cm
Efter 1 timme:					
Sättnått:	-	-	-	-	-
Utbredningsmått:	-	-	-	-	-
Efter 2 timme:					
Sättnått:	-	-	-	-	-
Utbredningsmått:	-	-	-	-	-
T50:	-	-	-	-	-
L-låda:	-	-	-	-	-
H2/H1 = svar	-	-	-	-	-
Tid 1 / tid 2	-	-	-	-	-
Orimet:	-	-	-	-	-
Lufthalt:	9,0%	2,8%	3,2%	8,5%	3%
Färsk densitet:	2100 kg/m ³	2300 kg/m ³	2300 kg/m ³	2150 kg/m ³	2300 kg/m ³
Drop test:					
1	4,00%		3,10%	3,90%	0,90%
2	5,00%		2,90%	3,40%	1,40%
3	5,50%		2,80%	3,50%	1,90%
4	4,60%		2,80%	4,30%	1,30%
Medel:	5,30%		2,90%	3,80%	1,40%
Ph:					
Lådan:	-	-	-	-	-
Tid - avstannat:	-	-	-	-	-
(Höjd vid avslut/flyt tid)					
B-kvot					
D-kvot					
Start	-	-	-	-	-
A	-	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	-
Härdningstid enl. temp.					
Härdade egenskaper:					
Hållfasthet:					
7 dygn i vatten	-	-	-	-	-
Densitet:	-	-	-	-	-
28 dygn i vatten	-	-	-	-	-
Densitet:	-	-	-	-	-
28 dygn i luft	37,2 Mpa	-	63,6 Mpa	40,5 Mpa	45,5 Mpa
Densitet:	2100 kg/m ³	-	2250 kg/m ³	2100 kg/m ³	2200 kg/m ³
Borås:					
Söt:					
Frost:					
Torkad:	Mkt god	-	Mkt god	Mkt god	Mkt god
28 d	0,00 kg/m ²	-	0,02 kg/m ²	0,01 kg/m ²	0,02 kg/m ²
56 d	0,01 kg/m ²	-	0,03 kg/m ²	0,01 kg/m ²	0,03 kg/m ²
Våt:	-	-	-	-	-
28d	-	-	-	-	-
56 d	-	-	-	-	-
Inre:	-	-	-	-	-

Steg 3:

	UV m WG luft 9/11	UV N luft 9/11	AUV <sika 21/11	N Silica 21/11	N Bentonit 21/11
Recept:	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
Cement	410	415	431	410	390
Summa ballast	1652	1658	1713	1637	1556
Vatten	225	220	212	189	290
Flyt	8	6	6	6,15	5,8
Luft	3	0,12	-	-	-
AUV	0,77 WG	-	1,06	-	-
Retarder	-	1	-	-	-
Filler	-	-	-	21	20
Vct	0,55	0,53	0,49	0,44	0,71
Färska egenskaper:					
Direkt:					
Sättningsmått:	235 mm	225 mm	232 mm	240 mm	220 mm
Utbredningsmått:	46 cm	53 cm	47 cm	58 cm	46 cm
Efter 1 timme:					
Sättningsmått:	-	-	-	-	-
Utbredningsmått:	-	-	-	-	-
Efter 2 timme:					
Sättningsmått:	-	-	-	-	-
Utbredningsmått:	-	-	-	-	-
T50:	-	-	-	-	-
L-låda:	-	-	-	-	-
H2/H1 = svar	-	-	-	-	-
Tid 1 / tid 2	-	-	-	-	-
Orimet:					
Lufthalt:	12,50%	5,20%	3%	3,80%	1,50%
Färsk densitet:	2100 kg/m ³	2300 kg/m ³	2350 kg/m ³	2250 kg/m ³	2250 kg/m ³
Drop test:					
1	2,00%	6,50%	5,70%	26,20%	3,30%
2	2,50%	6,50%	7,00%	27,20%	3,00%
3	1,70%	7,30%	5,80%	26,80%	3,20%
4	1,70%	8,20%	6,40%	32,90%	6,70%
Medel:	2,00%	7,10%	6,23%	28,28%	4,05%
Ph:	-	-	-	-	-
Lådan:					
Tid - avstannat:	-	-	-	-	-
(Höjd vid avslut/flyt tid)	-	-	-	-	-
B-kvot	-	-	-	-	-
D-kvot	-	-	-	-	-
Start					
A	-	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	-
Härddningstid enl. temp.					
Härdade egenskaper:	-	-	-	-	-
Hållfasthet:					
7 dygn i vatten	-	-	-	-	-
Densitet:	-	-	-	-	-
28 dygn i vatten	-	-	-	-	-
Densitet:	-	-	-	-	-
28 dygn i luft	27,6 Mpa	54,9 Mpa	69,3 Mpa	85,1 Mpa	32,5 Mpa
Densitet:	2050 kg/m ³	2200 kg/m ³	2350 kg/m ³	2300 kg/m ³	2150 kg/m ³
Borås:					
Söt:					
Frost:					
Torkad:	Mkt god	Mkt god	Mkt god	Mkt god	Mkt god
28 d	0,01 kg/m ²	0,00 kg/m ²	0,01 kg/m ²	0,01 kg/m ²	0,01 kg/m ²
56 d	0,01 kg/m ²	0,01 kg/m ²	0,02 kg/m ²	0,02 kg/m ²	0,02 kg/m ²
Våt:	-	-	-	-	-
28d	-	-	-	-	-
56 d	-	-	-	-	-
Inre:	-	-	-	-	-

Steg 3:

	Cem.luft 22/11	Cem 22/11	Bent+silika 22/11	Ben.sil. 4/12	Ben.sil.luft 4/12
Recept:	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
Cement	305	390	380	399	374
Summa ballast	1225	1647	1516	1608	1508
Vatten	185	245	301	258	232
Flyt	-	-	5,7	5,6	5
Luft	6	-	-	-	3,5
AUV	14,4	18,24	-	-	-
Retarder	-	-	-	2	2
Filler	-	-	19 resp. 19	9 resp. 19	9 resp. 18
Vct	0,61	0,63	0,72	0,6	0,58
Färska egenskaper:					
Direkt:					
Sättningsmått:	200 mm	225 mm	225 mm	225 mm	230 mm
Utbredningsmått:	40 cm	42 cm	45 cm	51 cm	50 cm
Efter 1 timme:					
Sättningsmått:	-	200 mm	-	-	-
Utbredningsmått:	-	-	-	-	-
Efter 2 timme:					
Sättningsmått:	-	-	-	-	-
Utbredningsmått:	-	-	-	-	-
T50:	-	-	-	-	-
L-låda:	-	-	-	-	-
H2/H1 = svar	-	-	-	-	-
Tid 1 / tid 2	-	-	-	-	-
Orimet:					
Lufthalt:	22%	3,20%	1,80%	1,50%	8,50%
Färsk densitet:	1735 kg/m ³	2310 kg/m ³	2241 kg/m ³	2300 kg/m ³	2150 kg/m ³
Drop test:					
1	4,20%	1,00%	2,90%	4,90%	6,00%
2	4,60%	1,90%	6,90%	5,10%	-
3	4,20%	1,80%	5,90%	5,30%	5,90%
4	5,40%	2,00%	4,10%	6,00%	8,20%
Medel:	4,60%	1,68%	4,95%	5,34%	6,70%
Ph:	-	-	-	-	-
Lådan:					
Tid - avstannat:	-	-	-	-	-
(Höjd vid avslut/flyt tid)	-	-	-	-	-
B-kvot	-	-	-	-	-
D-kvot	-	-	-	-	-
Start					
A	-	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	-
Härddningstid enl. temp.					
Härddade egenskaper:	-	-	-	-	-
Hållfasthet:					
7 dygn i vatten	-	-	-	-	-
Densitet:	-	-	-	-	-
28 dygn i vatten	-	-	-	-	-
Densitet:	-	-	-	-	-
28 dygn i luft	3,3 Mpa	45,9 Mpa	38,8 Mpa	42,3 Mpa	25,9 Mpa
Densitet:	1500 kg/m ³	2200 kg/m ³	2150 kg/m ³	2200 kg/m ³	2047 kg/m ³
Borås:					
Söt:					
Frost:					
Torkad:	Mkt god	Mkt god	Mkt god	Mkt god	Mkt god
28 d	0,02 kg/m ²	0,02 kg/m ²	0,02 kg/m ²	0,00 kg/m ²	0,00 kg/m ²
56 d	0,02 kg/m ²	0,03 kg/m ²	0,02 kg/m ²	0,04 kg/m ²	0,01 kg/m ²
Våt:	-	-	-	-	-
28d	-	-	-	-	-
56 d	-	-	-	-	-
Inre:	-	-	-	-	-

Steg 3:

	Cell.&skum. 6/12	Cell.,skum&luft. 6/12	UVX 12/12	Finare sikt 12/12	Finare sikt&luft 12/12
Recept:	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³
Cement	422	412	340	415	388
Summa ballast	1700	1661	1423	1671	1562
Vatten	216	212	136	207	188
Flyt	6	6	-	6	5
Luft	-	4	2	-	5
AUV	2 cell./ 2 skum.	2 cell./ 2 skum.	8,4	2	1,8
Retarder	2	2	2	-	-
Filler	-	-	-	-	-
Vct	0,51	0,51	0,4	0,5	0,48
Färsk egenskaper:					
Direkt:					
Sättmått:	240 mm	235 mm	240 mm	235 mm	245 mm
Utbredningsmått:	45 cm	44,5 cm	54 cm	47 cm	50 cm
Efter 1 timme:					
Sättmått:	-	-	-	-	-
Utbredningsmått:	-	-	-	-	-
Efter 2 timme:					
Sättmått:	-	-	-	-	-
Utbredningsmått:	-	-	-	-	-
T50:					
L-låda:	-	-	-	-	-
H2/H1 = svar	-	-	-	-	-
Tid 1 / tid 2	-	-	-	-	-
Orimet:					
Lufthalt:	3%	5%	19,50%	4,10%	11,20%
Färsk densitet:	2350 kg/m³	2300 kg/m³	1910 kg/m³	2300 kg/m³	2150 kg/m³
Drop test:					
1	2,20%	4,90%	15,90%	3,70%	5,00%
2	2,30%	3,80%	16,70%	5,30%	4,80%
3	2,90%	3,50%	14,70%	4,00%	4,00%
4	3,10%	4,90%	16,90%	5,40%	4,80%
Medel:	2,60%	4,30%	16,00%	4,60%	4,60%
Ph:					
Lådan:					
Tid - avstannat:	-	-	-	-	-
(Höjd vid avslut/flyt tid)					
B-kvot	-	-	-	-	-
D-kvot	-	-	-	-	-
Start					
A	-	-	-	-	-
B	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	-
Härdningstid enl. temp.					
-	-	-	-	-	-
Härdade egenskaper:					
Hållfasthet:					
7 dygn i vatten	-	-	-	-	-
Densitet:	-	-	-	-	-
28 dygn i vatten	-	-	-	-	-
Densitet:	-	-	-	-	-
28 dygn i luft	54,3 Mpa	50,5 Mpa	16,9 Mpa	54,5 Mpa	36,9 Mpa
Densitet:	2250 kg/m³	2250 kg/m³	1850 kg/m³	2250 kg/m³	2100 kg/m³
Borås:					
Söt:					
Frost:					
Torkad:	Mkt god	Mkt god	Mkt god	Mkt god	Mkt god
28 d	0,00 kg/m²	0,00 kg/m²	kg/m²	0,00 kg/m²	0,00 kg/m²
56 d	0,01 kg/m²	0,00 kg/m²	0,01 kg/m²	0,01 kg/m²	0,00 kg/m²
Våt:	-	-	-	-	-
28d	-	-	-	-	-
56 d	-	-	-	-	-
Inre:	-	-	-	-	-

Steg 3:

	Auv m flytsilika 12/12	Låg vct luft 13/12	Låg vct luft 13/12
Recept:	kg/m³	kg/m³	kg/m³
Cement	426	391	398
Summa ballast	1695	1702	1667
Vatten	176	146	165
Flyt	7	13	12
Luft	-	5	5
AUV	2	2	2
Retarder	-	-	-
Filler	43	-	-
Vct	0,4	0,37	0,41
Färska egenskaper:			
Direkt:			
Sättningsmått:	240 mm	230 mm	245 mm
Utbredningsmått:	46 cm	43 cm	46 cm
Efter 1 timme:			
Sättningsmått:	-	-	30 min 230 mm
Utbredningsmått:	-	-	-
Efter 2 timme:			
Sättningsmått:	-	-	-
Utbredningsmått:	-	-	-
T50:	-	-	-
L-låda:			
H2/H1 = svar	-	-	-
Tid 1 / tid 2	-	-	-
Orimet:	-	-	-
Lufthalt:	3,20%	8%	7,50%
Färsk densitet:	2350 kg/m ³	2250 kg/m ³	2250 kg/m ³
Drop test:			
1	2,70%	2,00%	4,20%
2	3,30%	2,80%	4,20%
3	3,90%	2,40%	4,20%
4	4,00%	2,20%	4,00%
Medel:	3,50%	2,40%	4,20%
Ph:	-	-	-
Lådan:			
Tid - avstannat:	-	-	-
(Höjd vid avslut/flyt tid)			
B-kvot	-	-	-
D-kvot	-	-	-
Start			
A	-	-	-
B	-	-	-
C	-	-	-
D	-	-	-
Härdningstid enl. temp.			
	-	-	-
Härdade egenskaper:			
Hållfasthet:			
7 dygn i vatten	-	-	-
Densitet:	-	-	-
28 dygn i vatten	-	-	-
Densitet:	-	-	-
28 dygn i luft	69,7 Mpa	34,1 Mpa	37,4 Mpa
Densitet:	2300 kg/m ³	2150 kg/m ³	2200 kg/m ³
Borås:			
Söt:			
Frost:			
Torkad:	Mkt god	Mkt god	Mkt god
28 d	0,00 kg/m ²	0,00 kg/m ²	0,00 kg/m ²
56 d	0,01 kg/m ²	0,01 kg/m ²	0,01 kg/m ²
Våt:	-	-	-
28d	-	-	-
56 d	-	-	-
Inre:	-	-	-

Steg 4:

	K40 btg	UVN	AUV 28/2	AUV ref. 4/4	AUV 1% 5/4	AUV 2% 4/4
Recept:	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³	kg/m³
Cement	395	405	404	404	402	374
Summa ballast	1757	1745	1743	1742	1654	1537
Vatten	192	194	194	196	182	173
Flyt	5,9	4,7	7,4	6,5	6,4	6
Luft	0,2	-	-	-	4	7,5
AUV	-	-	2	2	2	2
Retarder	-	2,4	-	-	-	-
Filler	-	-	-	-	-	-
Vct	0,49	0,48	0,48	0,49	0,45	0,46
Färska egenskaper:						
Direkt:						
Sättnått:	50 mm	140 mm	225 mm	240 mm	245 mm	255 mm
Utbredningsmått:	35 cm	48 cm	37 cm	45 cm	46 cm	50 cm
Efter 1 timme:						
Sättnått:	10 mm	50 mm	160 mm	230 mm	235 mm	250 mm
Utbredningsmått:	-	33 cm	33 cm	42 cm	41 cm	46 cm
Efter 2 timme:						
Sättnått:	-	-	60 mm	225 mm	230 mm	24 mm
Utbredningsmått:	-	-	-	40 cm	38 cm	45 cm
T50:						
L-låda:	-	-	-	-	-	-
H2/H1 = svar	-	-	-	-	-	-
Tid 1 / tid 2	-	-	-	-	-	-
Orimet [sek.]:	-	-	-	60/-285	65/180/180	12/18/20
Lufthalt:	6%	4%	3,9% / 3,9%	3% / 3%	7,5/7	11/11
Färsk densitet:	2350 kg/m³	2350 kg/m³				
Drop test:						
1	4,8	5,3	3,3	4,4	2,3	6
2	5,9	5,8	3,7	5	3,3	6,4
3	6,3	3,3	3,3	6,3	3,3	5,2
4		5	4,3	3,6	5,3	6,3
Medel:	5,70%	4,90%	3,60%	4,80%	3,50%	6,00%
Ph:	-	-	-	-	-	-
Lådan:						
Tid - avstannat:	-	2 sek.	95 sek.	135 sek.	190 sek.	80 sek.
(Höjd vid avslut/flyt tid)						
B-kvot	-	-	0,6	0,78	0,7	0,73
D-kvot	-	-	-	0,44	0,18	0,38
Start	-	130 mm/0 sek.	150 mm	134 mm	135 mm	130 mm
A	-	75 mm / 1 sek.	120 mm	130 mm	125 mm	115 mm
B	-	-	90 mm	105 mm	95 mm	95 mm
C	-	-	75 mm	90 mm	70 mm	80 mm
D	-	-	15 mm	60 mm	25 mm	50 mm
Härdningstid enl. temp.						
Härdade egenskaper:						
Hållfasthet:						
7 dygn i vatten	47,0 MPa	45,0 Mpa	44,0 Mpa	40,8 MPa	28,7 MPa	17,3 MPa
Densitet:	2350 kg/m³	2350 kg/m³	2350 kg/m³	2350 kg/m³	2250 kg/m³	2100 kg/m³
28 dygn i vatten	-	-	-	-	-	-
Densitet:	-	-	-	-	-	-
28 dygn i luft	60 MPa	62,7 Mpa	61,4 Mpa	59,3 MPa	50,5 MPa	27,5 MPa
Densitet:	2300 kg/m³	2350 kg/m³	2350 kg/m³	2300 kg/m³	2250 kg/m³	2000 kg/m³
Borås:						
Söt:						
Frost:						
Torkad:	Mkt god	Mkt god	Mkt god	God	-	-
28 d	0,01 kg/m²	0,03 kg/m²	0,04 kg/m²	0,04 kg/m²	-	-
56 d	0,02 kg/m²	0,09 kg/m²	0,06 kg/m²	0,15 kg/m²	-	-
Våt:	Mkt god	God	God	Mkt god	Mkt god	God
28d	0,03 kg/m²	0,04 kg/m²	0,26 kg/m²	0,05 kg/m²	0,02 kg/m²	0,21 kg/m²
56 d	0,05 kg/m²	0,19 kg/m²	0,39 kg/m²	0,09 kg/m²	0,02 kg/m²	0,21 kg/m²
Salt:						
Torkad:	God	Inte accep.	Inte accep.	Inte accep.	-	-
28 d	0,18 kg/m²	1,51 kg/m²	0,72 kg/m²	2,54 kg/m²	-	-
56 d	0,30 kg/m²	Totalt förstörd	Totalt förstörd	2,79 kg/m²	-	-
Våt:	Inte accep.	Inte accep.	Inte accep.	Inte accep.	God	God
28d	0,80 kg/m²	1,35 kg/m²	0,52 kg/m²	2,07 kg/m²	0,19 kg/m²	0,08 kg/m²
56 d	1,40 kg/m²	Totalt förstörd	Totalt förstörd	2,14 kg/m²	0,3 kg/m²	0,13 kg/m²

Fält:

	Borlänge	Stockholm
Recept:	kg/m³	kg/m³
Cement	350	
Summa ballast	1780	
Vatten	192	
Flyt	1,20%	
Luft	-	
AUV	2	
Retarder	-	
Filler	-	
Vct	0,55	
Färska egenskaper:		
Direkt:		
Sättmått:	270-280 mm	240-250 mm
Utbredningsmått:	53 cm	51 cm
Efter 1 timme:		
Sättmått:	-	-
Utbredningsmått:	-	-
Efter 2 timme:		
Sättmått:	-	-
Utbredningsmått:	-	-
T50:	60 sek.	-
L-låda:	-	-
H2/H1 = svar	-	-
Tid 1 / tid 2	-	-
Orimet:	13 sek.	12 sek.
Lufthalt:	1,90%	-
Färsk densitet:	2300 kg/m ³	2300 kg/m ³
Drop test:		
1	8%	4,90%
2	9,50%	5,90%
3	9%	6,60%
4	-	5,90%
Medel:	8,80%	5,80%
Ph:	-	-
Lådan:		
Tid - avstannat:	60 sek.	75 sek.
(Höjd vid avslut/flyt tid)		
B-kvot	0,96	0,89
D-kvot	0,92	0,74
Start	135 mm	135 mm
A	134 mm	125 mm
B	130 mm	120 mm
C	130 mm	110 mm
D	125 mm / 10 sek	100 mm/27 sek.
Härdningstid enl. temp.	-	-
Härdade egenskaper:		
Hållfasthet:		
7 dygn i vatten	-	-
Densitet:	-	-
28 dygn i vatten		
Densitet:		
28 dygn i luft	-	-
Densitet:	-	-
Frost:		
Torkad:	God	
28 d	0,07 kg/m ²	
56 d	0,11 kg/m ²	
Våt:		
28d	-	
56 d	-	
Salt:		
Torkad:	Inte accep.	
28 d	3,80 kg/m ²	
56 d	7,26 kg/m ²	
Våt:		
28d	-	
56 d	-	

Siktkurvor:

D.1 Steg 1:

Sikvidd Passerande mängd %

	K40 btg	UV-btg utan AUV	UV-btg med AUV
32	100	100	100
16	98,79	97,6	97,6
8	71,59	62,8	62,8
4	53,69	56,4	56,4
2	37,48	47,26	47,26
1	24,61	34,8	34,8
0,5	12,67	21,6	21,6
0,25	4,36	9,6	9,6
0,125	1,58	3,6	3,6
0,075	0,87	1,6	1,6

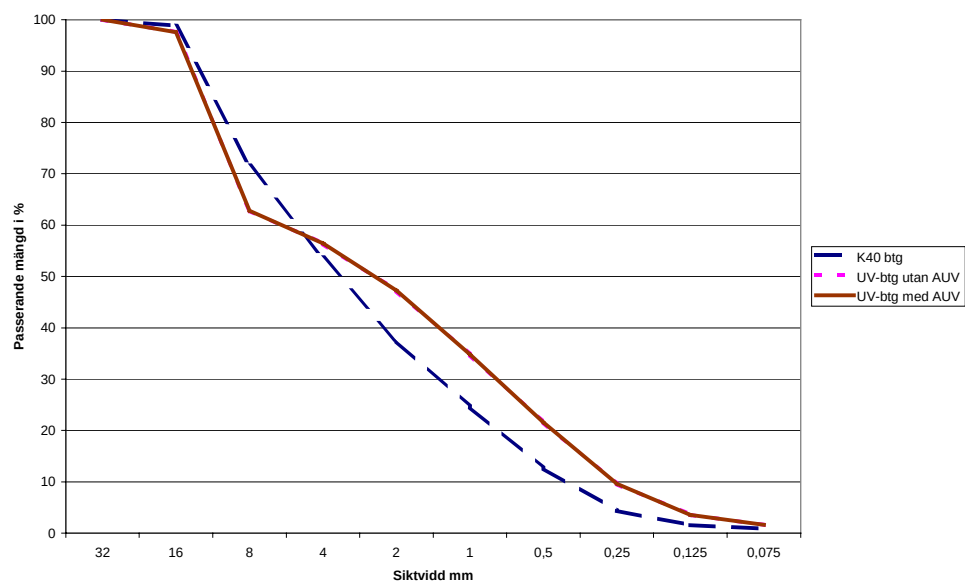


Diagram F.1. Siktdiagram steg 1.

D.2 Steg 2

Sikvidd Passerande mängd %

	UV Normal	UV AUV	SCC	UV AUV 32 mm
32	100	100	100	100
16	99,91	99,9	99,91	63,63
8	71,87	68,07	72,88	53,2
4	57,91	54,43	64,06	45,84
2	45,41	41,76	54,74	34,25
1	32,83	29,02	40,15	25,48
0,5	20,61	16,83	23,4	16,59
0,25	11,6	8,03	9,09	8
0,125	2,82	2,34	2,85	2,07
0,075	1,12	1,13	1,44	0,82

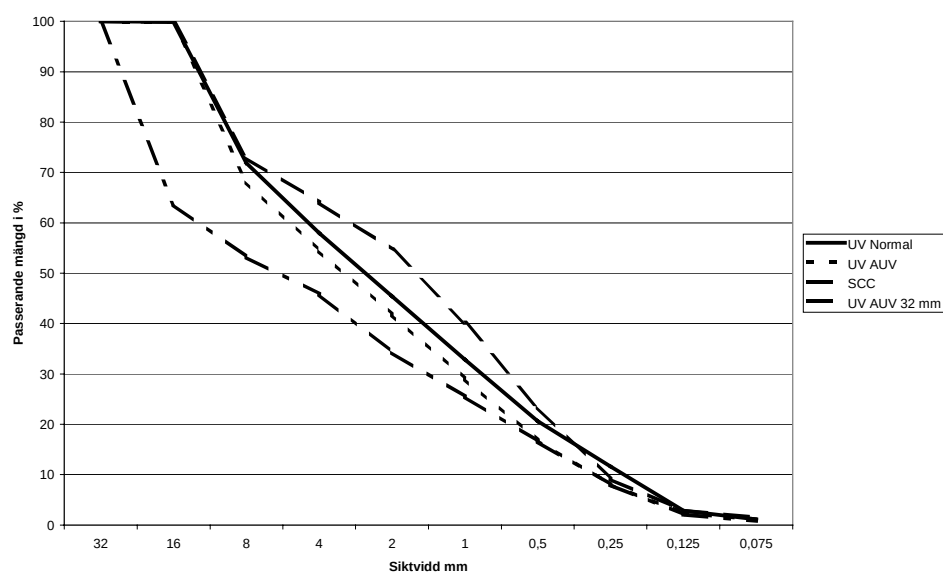


Diagram F.2. Siktdiagram steg 2.

D.3 Steg 3

Här följs siktkurvorna för UV AUV samt UV Normal, se **diagram F2**.

D.4 Steg 4

Sikvidd Passerande mängd %

	K40	UVN	AUV
32	100	100	100
16	98,79	99,91	99,91
8	71,59	71,87	72,18
4	53,69	57,91	54,87
2	37,48	45,41	39,15
1	24,61	32,83	25,78
0,5	12,67	20,61	15,89
0,25	4,36	11,6	8,48
0,125	1,58	2,82	2,3
0,075	0,87	1,12	0,94

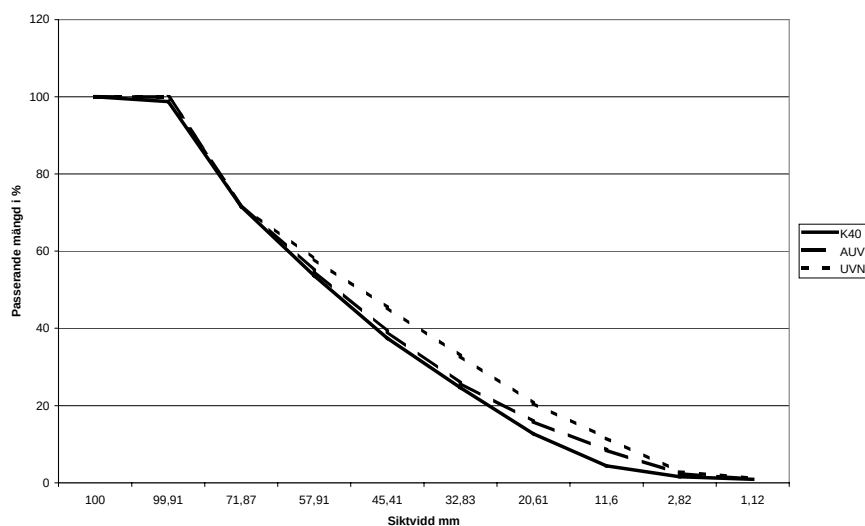


Diagram F.3. Siktdiagram steg 4.

E Protokoll

Blandning:

Gjuta kuber:
Gjuta hinkar i vatten:
Gjuta hinkar i luft:

6 st. i luft.

Datum: _____

Färdig blandat kl.: _____

Färska egenskaper:

Temperatur (direkt): _____ °C.

Klockslag: _____

Adiabatiskt - 2 dygn:

Temperatur (1 tim): _____ °C.

Temperatur (2 tim): _____ °C.

Temperatur (3 tim): _____ °C.

Sättnått (direkt): _____ mm

Klockslag: _____

Sättnått (1 tim): _____ mm

Klockslag: _____

Sättnått (2 tim): _____ mm

Klockslag: _____

Sättnått (3 tim): _____ mm

Klockslag: _____

Utbredning (direkt): _____ cm

Klockslag: _____

T 50 (direkt): _____ sek.

Klockslag: _____

Utbredning (1 tim): _____ cm

Klockslag: _____

T 50 (1 tim): _____ sek.

Klockslag: _____

Utbredning (2 tim): _____ cm

Klockslag: _____

T 50 (2 tim): _____ sek.

Klockslag: _____

Utbredning (3 tim): _____ cm

Klockslag: _____

T 50 (3 tim): _____ sek.

Klockslag: _____

Lufthalt (direkt): _____ %

Klockslag: _____

Lufthalt (1 tim): _____ %

Klockslag: _____

Färsk densitet: _____ 0 kg/m³

Orimet (direkt) _____ 1 2 3 sek.

Klockslag: _____

Orimet (1 tim) _____ sek.

Klockslag: _____

Orimet (2 tim) _____ sek.

Klockslag: _____

Orimet (3 tim) _____ sek.

Klockslag: _____

Drop test:

Vikt före Vikt efter

Utvaskad:

1	_____ kg	%	_____
2	_____ kg	%	
3	_____ kg	%	
4	_____ kg	%	

L-låda:

Tid-avstannat: _____ sek.

Klockslag: _____

(Höjd vid avslut/flyt tid) _____ mm /sek.

Start _____ mm /sek.

A _____ mm /sek.

B _____ mm /sek.

C _____ mm /sek.

D _____ mm /sek.

Kvar: _____ mm

Ph-test:

1 _____ pH

Klockslag: _____

2 _____ pH

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30. Telefax 08-677 25 35
www.elforsk.se