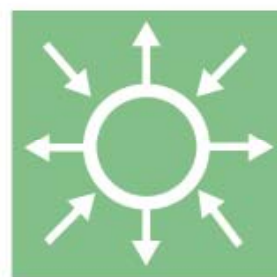


Undersökning av frostbeständighet hos undervattensgjuten betong

**Fullskaleförsök med betong innehållande
antiutvaskningsmedel och luftporbildande
tillsatsmedel**

Elforsk rapport 08:31



Tomas Sandström

April 2008

ELFORSK

UNDERSÖKNING AV FROSTBESTÄNDIGHET HOS UNDERVATTENSGJUTEN BETONG

**Fullskaleförsök med betong Innehållande
antiutvaskningsmedel och luftporbildande
tillsatsmedel**

Elforsk rapport 08:31

Tomas Sandström

April 2008

Förord

Svenska vattenkraftföretag har sedan 1995 finansierat betongtekniskt utvecklingsarbete inriktat mot vattenkraftföretagens behov.

Syftet med den verksamhet som bedrivs är att stå för ett kvalificerat stöd till vattenkraftföretagen i de byggfrågor som faller under hela den tekniska förvaltningskedjan. Målet är att ta fram verktyg, riktlinjer, utförandebeskrivningar och teknik som fyller industrins behov, bl.a. genom ett koppla resultat till RIDAS med tillämpningsanvisningar. Målet är också att utifrån industriperspektiv bygga kompetens på olika håll i samhället där så behövs. En viktig del är att medverka till att det kommer fram studenter, tekniska licentiater och doktorer som har genomfört arbeten inom områden som ligger nära branschens intressen.

Programmet administreras med hjälp av en styrgrupp med följande ledamöter:

Malte Cederström, Vattenfall Vattenkraft
Johanna Feldtman, E.ON Vattenkraft Sverige
Jan Liif, Statkraft AS
Erik Nordström, Vattenfall Vattenkraft
Karin Persson, Fortum
Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen
Lars Hammar, Elforsk

Stockholm April 2008

Lars Hammar
Elforsk AB

Sammanfattning

Arbetet som beskrivs i denna rapport är ett led i forskningen rörande frostbeständig undervattensgjuten betong innehållande AUV-medel (Antiutvaskningsmedel). Rapporten är uppdelad i två delar (Del 1 & 2).

Rapporten behandlar i huvudsak Del 1 och den består av en förstudie och ett fullskaleförsök. Del 1 syftar till att bevisa att det är möjligt framställa, och gjuta under vatten i full skala med, en frostbeständig betong innehållande antiutvaskningsmedel och luftporbildande tillsatsmedel.

Del två, redovisas i **Bilaga A**, syftar till att genom sökning i Vägverkets databas "BaTMan" finna lämpliga broar för framtida urtagning och provning. De broar som anses som lämpliga i sammanhanget är de där det finns anledning att misstänka att någon av brons konstruktionsdelar som innehåller antiutvaskningsmedel utsatts för frostattacker.

Förstudien innefattar en serie av mindre blandningar (140 liter) där andelen flytmedel och luftporbildande tillsatsmedel varierades. Syftet med förstudien var att fastställa lämpliga proportioner av ovan nämnda tillsatsmedel med avseende till betongens arbetbarhet och frostbeständighet. Resultaten från dessa försök ligger till grund för det seantre fullskaleförsöket som redovisas i del två. Provkroppar från de olika gjutningarna innehöll 2,4 % (referensblandning vilken inte hade något tillskott av luftporbildande tillsatsmedel), 3,6 %, 5,4 %, 6,7 %, 10,3 % luft. Frostprovning enligt SS 13 72 44 "Boråsmetoden" i både söt- och saltvatten (3 % natriumklorid) utfördes. Samtliga resultat från sötvattensprovningen visar att betongen hade mycket god frostbeständighet. Provning utförd i saltvatten (3 % natriumklorid) visade att alla provkroppar, utom referensblandningen, uppvisade mycket god frostbeständighet.

I den andra delen av rapporten beskrivs ett så kallat fullskaleförsök som utfördes enligt Vägverkets publikation 2002:50 "Antiutvaskningsmedel". Betongen som användes vid detta försök uppvisade mindre luft än vad som eftersträvades och en viss separation kunde urskiljas efter betongen härdat. Betongen klarade de krav som ställs i Vägverkets publikation 2002:50 samt de krav som ställs på frostbeständighet enligt SS 13 72 44 "Boråsmetoden". Frostbeständighet provades också enligt ASTM 666-85 "inre frostbeständighet", resultaten från denna provning påvisade hur stenseparation kan inverka på betongens inre frostbeständighet. Tre av sex provkroppar klarade inte de krav som ställs av denna provningsmetod.

Undervattensgjuten betong innehållande AUV-medel kan med all säkerhet tillverkas så att den klarar de krav som för närvarande ställs på frostbeständighet. Resultaten från denna studie visar att ett riktvärde för undervattensgjuten betongs luftinnehåll är cirka 7-8 %¹ då betongbilen lämnar betongstationen för att kunna parera eventuella förluster som uppstår vid transport (körsträcka och typ av fraktsätt) och pumpning. Ett riktvärde för "stabil" lufthalt vid arbetsplatsen efter pumpning torde vara någonstans i storleksordningen kring 5-6 %.

¹ Styrker tidigare resultat Björkenstam E. [3]

En viktig frågeställning som bör tas under beaktning är hur resultaten från de olika frostprovningssmetoderna relaterar till det svenska klimatet, d.v.s hur många fryscyklar med respektive metod motsvarar en svensk normal vinter. Också vilken av metoderna som i denna aspekt återspeglar verkligheten på bästa sätt.

Summary

This report is written as a part of the research regarding freeze thaw resistance of concrete used in sub water applications. The project described in this technical report is divided in two parts.

The first part contains a preliminary study and a full-scale experiment. The aim of the first part is to prove that it is possible to produce, and cast, a concrete resistant to freeze/thaw actions consisting of air-, anti-wash out-, and super plasticizer admixtures.

The second part of this report describes the search for suitable bridges for field-testing and core drilling. The work is presented in **Bilaga A**. The search was conducted in the Swedish Road Administrations database "BaTMan".

The first part represents the preliminary study that consisted of a series of smaller mixes (140 liters) where the proportions of the air- and super plasticizer agents varied. The purpose of varying these properties was to confirm what amount of each agent needed to fulfill the requirement of the concrete, i.e. workability and freeze/thaw resistance. This procedure determined the proportions of the additives used in the full-scale experiment. The test samples from the different mixtures were submitted to testing after curing. The air content was determined to 2,4 % (reference mixture with no addition of air agent), 3,6 %, 5,4 %, 6,7 %, and 10,3 % of air pores. Freeze/thaw testing was conducted according to the Swedish standard SS 13 72 44 "Boråsmetoden" both in fresh water and in saltwater (3 % potassium chloride). The results from the freshwater testing proved that all concrete mixtures had very good resistance to freeze/thaw action. The results from the saltwater testing proved that all concrete mixtures, except the reference mixture, had very good resistance to freeze/thaw action.

The full-scale experiment is described in the second part of the report. The experiment was conducted according to the Swedish Road Administration (Vägverket) publication 2002:50 "Antiutvaskningsmedel". The concrete used in this part had a lesser amount of air pores than wanted and the concrete also showed signs of separation after the concrete had cured, the concrete still fulfilled the requirements regarding both workability, strength and freeze/thaw resistance. In this part the concrete was submitted to two different types of freeze/thaw resistance testing, SS 13 72 44 and ASTM 666-85. The results from SS 13 72 44 proved that the concrete had very good resistance to freeze/thaw actions, while the results from ASTM 666-85 showed varying results, 3 out of 6 specimens failed to fulfill the requirement. The specimens that failed to fulfill the requirement of ASTM 666-85 failed most likely due to the affects of the separation that took place.

Underwater concrete consisting of anti-washout admixtures can be produced so that the properties of the concrete fulfill, or even exceed, the present requirements. Results from this work state that the amount of air in the concrete mix should be around 7-8 % when the concrete leaves the concrete manufacturer (depending on means of transportation and distance). At the work site, and after pumping it is recommended that the amount of air should be around 5-6 % to ensure a frost resistant sub water concrete consisting of anti-washout admixture.

However, important issues that need to be considered are how the reliability of the different methods of testing relates to the conditions that a normal Swedish winter presents. Also what methods of testing used are reflecting reality in the best way.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och mål	1
1.3	Begränsningar	2
2	Allmänt om fryscyklers betingelser	3
3	Förstudie	4
3.1	Inledning	4
3.2	Material och tillsatsmedel	4
3.3	Blandningsförfarande	5
3.4	Kontroll av lufthalt, SS 13 71 24 och planslipsanalys	5
3.5	Modifierad L-låda, VU-SC: 47	6
3.6	Drop-test, VU-SC: 45	8
3.7	Sättnmätt och utbredningsmätt	9
3.8	Tryckhållfasthet, SS 13 72 10	10
3.9	Planslipsanalys, SS-EN 480-11	11
3.10	Analys av frostbeständighet/avflagning vid frysning, SS 13 72 44	11
4	Slutsatser från förstudien	13
5	Fullskaleförsöket	14
5.1	Blandningsförfarande	14
5.2	Utförande - Fullskaleförsök	15
5.3	Resultat av provning i det färska tillståndet	16
5.3.1	Kontroll av lufthalt, SS 13 71 24	16
5.3.2	Modifierad L-låda, VU-SC: 47	16
5.3.3	Drop-test, VU-SC: 45	16
5.3.4	Sättnmätt och Utbredningsmätt	17
6	Utvärdering av fullskaleförsöket enligt publikation 2002:50	18
6.1	Gjutningsförfarandet	18
6.2	Provning av den färska betongen	18
6.3	Besiktning och spräckning av provkroppar efter 21 dygn	18
6.4	Provtryckning av kuber	19
6.5	Sammanfattning av resultat med avseende på publikation 2002:50	19
7	Provning av betongkroppens härdade tillstånd	20
7.1	Tryckhållfasthet, SS 13 72 10	21
7.2	Planslipsanalys, TI-B4/ASTM C 457	21
7.3	Inre frostbeständighet, ASTM 666-85	22
7.4	Analys av frostbeständighet/avflagning vid frysning, SS 13 72 44	23
7.5	Densitetsvariationer i den hårdnade betongkroppen	24
8	Slutsats	25
9	Rekommendation	26
10	Referenslista	27

Bilagor

A Undersökning av broar i Batman, Del 2

B Betongrecept - Förstudie

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Denna rapport är en fortsättning på ett tidigare utfört Elforskprojekt (Rapport 03:16) "En studie av undervattensbetong med antiutvaskningsmedel".

Betonggjutningar under vatten har utförts runt om i världen under mer än ett sekel, och baseras på metoder som förhindrar att betongmassan störtar ner genom vattnet med stor hastighet och som minskar exponeringen för urvaskning av cement och finmaterial. Den urvaskning av cement och finmaterial som trots allt har skett har medfört att undervattensbetong ofta lidit av bristande kvalitet.

Senare års utvecklingsarbete på materialsidan har dock resulterat i tillsatsmedel som minskar risken för urvaskning, s.k. antiurvaskningsmedel. Dessa medel ändrar den färiska betongens reologiska egenskaper så att konsistensen blir trögflytande. Den stora fördelen med att använda antiurvaskningsmedel är att risken för misslyckade gjutningar kan minskas avsevärt. Detta är betydelsefullt eftersom misslyckade gjutningar vid upprepade tillfällen har medfört att den gjutna konstruktionen måste bilas eller sprängas bort.

Den dåliga frostbeständighet som i många fall uppnås vid provning har hittills varit en kritisk negativ egenskap för undervattensbetong gjuten med antiurvaskningsmedel. Följaktligen används sådan betong endast för konstruktionsdelar som inte är frostutsatta.

Frostbeständighet behövs ändå i de fall som kyla kan ledas ned till konstruktionsdelar under vatten eller då undervattensbetong gjuts upp till vattenlinjen. Det finns därför ett behov av att se över hur frostbeständigheten skall provas och hur den kan förbättras.

1.2 Syfte och mål

Syftet med Del 1 i detta projekt är att bevisa att det är möjligt framställa, och gjuta under vatten i full skala med, en frostbeständig betong innehållande antiutvaskningsmedel och luftporbildande tillsatsmedel.

Målsättningen med Del 1 är att utföra en gjutning enligt Vägverkets publikation 2002:50 "Antiutvaskningsmedel" där alla kraven uppfylls samt att betongen ska vara frostbeständig.

Syftet med Del 2 är att genom sökning i Vägverkets databas "BaTMan" finna lämpliga broar för framtida urtagning och provning. De broar som anses som lämpliga i sammanhanget är de där det finns anledning att misstänka att någon av brons konstruktionsdelar som innehåller antiutvaskningsmedel utsatts för frostattacker.

Målsättningen för Del 2 är att ta fram ett antal broar som har konstruktionsdelar som innehåller antiutvaskningsmedel och som kan ha utsatts, och/eller utsätts, för frostattacker.

1.3 Begränsningar

Fullskaleförsöket som beskrivs i Del 1 av denna rapport utfördes enligt Vägverkets publikation 2002-50 "Antiutvaskningsmedel". Betongen som användes i försöket skulle vara frostbeständig och samtidigt innehålla antiutvaskningsmedel och luftporbildande tillsatsmedel.

De konstruktioner (broar) som i Del 2 anses som intressanta i sammanhanget undersöks närmare för fastställa huruvida de byggts med betong innehållande AUV-medel och ifall de utsatts för frostskador. Kompletterande information om broar och betong kan hämtas från konstruktionsritningar.

2 Allmänt om fryscyklers betingelser

En tidigare utförd studie [1] beskrivs teoretiskt hur betongkonstruktioner påverkas av väderleksvariationer, uttryckt i antal fryscyklar betongen utsätts för per år. Studien visade att antalet fryscyklar är relativt konstant runtom i Sverige, med undantag för södra Sverige (representerad av Lund i denna studie) där det i regel sker relativt mindre antal fryscyklar per år under en normalvinter.

En av de nuvarande metoderna för att prova frostbeständigheten hos betong är den så kallade "Boråsmetoden", SS 13 72 44. Föregångaren till denna metod hette SS 13 72 25 och bedöms som en, för betongen, mer krävande provningsmetod än SS 13 72 44.

Vid provning med den äldre metoden, SS 13 72 25, var tumregeln att cirka 7 fryscyklar motsvarade en svensk normalvinter, oavsett var i Sverige man befinner sig. Studien kan varken förkasta eller styrka den tidigare nämnda tumregeln att 7 fryscyklar vid provning med SS 13 72 25 motsvarar en svensk normalvinter. Då "Boråsmetoden" anses vara mindre krävande för betongen än sin föregångare torde också antalet fryscyklar vara mer än cirka 7 för att motsvara en svensk normalvinter, exakt hur många är emellertid oklart.

Det är viktigt att poängtera att en frysning inte kan påverka betongens beständighet ifall den är torr. Lika viktigt är det att förstå att frysning kan påverka samma betongkonstruktion olika beroende på bl.a. varierande luftfuktighet betongens vattenmättnadsgrad, kloridkoncentration, och/eller en konstruktionsdels läge (solinstrålning).

Vidare bör också vikten av utformningen av luftporsystemet nämnas. Utformningen av luftporsystemet är minst lika viktig, om inte viktigare än volymen luftporer. Detta motiveras med att en betongkropp med en konstant volym luftporer uppvisar betydligt högre frostbeständighet när den innehåller många mindre porer relativt färre och större porer. Detta fenomen kan förenklat beskrivas med att det av betong inneslutna vattnet lättare kan transporteras mellan närliggande porer när frysning sker, ju högre avståndsfaktor (längre avstånd mellan porerna) desto svårare blir transporten av vatten [2].

3 Förstudie

Syftet med förstudien är att fastställa och verifiera ett tillfredställande blandningsförfarande och proportionering av tillsatsmedel med avseende på den undervattensgjutna betongens frostbeständighet och arbetbarhet. Detta kapitel behandlar förstudiens metoder och resultat samt slutsatser som kan utläsas från dessa.

3.1 Inledning

Förstudien innefattar olika provningsmetoder på 5 stycken 140 liters blandningar. Blandningarna innehåller både antiutvaskningsmedel, flytmedel och luftporbildande tillsatsmedel. De provningsmetoder som användes är:

- Lufthaltskontroll
- Modifierad L-låda
- Drop-test
- Sättningsmått och utbredningsmått
- Tryckhållfasthet
- Planslipanalys
- Frostbeständighet i salt- och sötvatten

I detta kapitel redovisas utförandebeskrivning och resultat av de provningsmetoder som använts vid förstudien. De redovisas i ovan beskriven ordning.

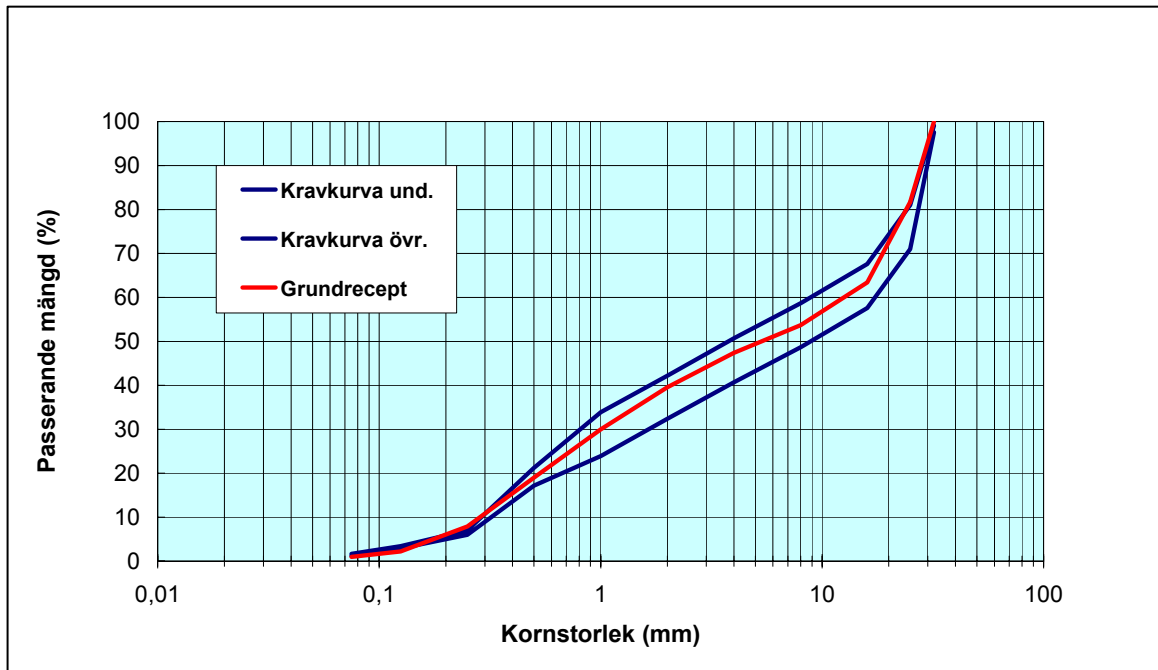
3.2 Material och tillsatsmedel

De 5 blandningar som provades innehöll olika mängder av det luftporbildande tillsatsmedel som användes i försöken, med reservation för referensblandningen som inte innehöll något luftporbildande tillsatsmedel överhuvudtaget. Cementhalten var 400 kg per m³ och med ett vct (vattencement tal) motsvarande 0,45. Tillsatsmedlen som användes tillverkas av Sika Sverige AB. För närmare beskrivning se Tabell 3.1 nedan.

Tabell 3.1: Tillsatsmedel använda i förstudien

Tillsatsmedel	Produktnamn
Luftporbildare	SikaAer-S
Flytmedel	Sikament 56
Antiutvaskningsmedel	UCS

Den sammansatta siktkurvan (exklusive tillsatsmedel) av den betong som användes i försöken, och som är specificerad i Vägverkets publikation "Antiutvaskningsmedel" 2002:50, presenteras nedan i Figur 3.1. I figuren finns infogade kravkurvor från Vägverkets publikation 2002.50. För specifika betongrecept se **Bilaga B**.



Figur 3.1: Undervattenbetongens sammansatta siktkurva enligt Vägverkets publikation 2002:50

3.3 Blandningsförfarande

Under förstudien så var målsättningen att fixera blandningsförfarandet så precis som möjligt. Det torra materialet blandades först under 2 minuter. Därefter tillsattes vatten och flytmedel, blandades under ytterligare 2 minuter. Slutligen tillsattes det luftporbildande tillsatsmedlet och därefter blandades betongen ytterligare i 15 minuter. För en överskådligare bild av själva blandningsförloppet se Tabell 3.2 nedan.

Tabell 3.2: Förstudiens blandningsförfarande

Tid (minuter)	Aktivitet
0-2	Torra material
2-4	Vatten, flytmedel
4-15	Luftporbildare
15-45	Fortsatt blandning

Mängden antiutvaskningsmedlet hölls konstant under hela undersökningen, enligt vad som redovisas som rekommenderad mängd av leverantören, 2 kg per m³ betong. Flytmedlet varierades dock en aning för att parera effekterna som uppstår när mängden luftporbildande tillsatsmedel varierar.

3.4 Kontroll av lufthalt, SS 13 71 24 och planslipsanalys

Lufthalten kontrollerades vid tre olika tidpunkter, två gånger i färskt tillstånd under blandningsförfarandet och en gång efter att betongen härdat i 28 dygn. Kontrollen utfördes av Cementa Research AB. Efter att betongen blandats i 15 minuter tappades cirka hälften av blandningen ut i en skottkärra. Större delen

av testerna utfördes av denna betong resterande del av betongen som var kvar i blandaren blandades i ytterligare 30 minuter. Lufthalten mättes både efter 15 och 45 minuters blandning. De olika lufthalterna som uppmättes redovisas i Tabell 3.3 nedan. En markant överdosering, jämfört med rekommenderad dosering av det luftporbildande tillsatsmedlet krävdes för att uppnå ett bestående luftporsystem, se Tabell 3.3.

Tabell 3.3: Lufthalter i de olika blandningarna

Blandning ¹	Tillsatt mängd ^{2, 3}	Uppmätt lufthalt ⁴		Analyserad lufthalt ⁵
		Efter 15 minuter	Efter 45 minuter	
Referens	0,0 %	1,5 %	1,6 %	2,4 %
1	0,3 %	2,6 %	2,6 %	3,6 %
2	0,5 %	4,5 %	5,0 %	5,4 %
3	0,7 %	6,0 %	7,5 %	6,7 %
4	0,8 %	8,5 %	9,0 %	10,3 %

¹ Blandningarnas olika märken

² Den mängd luftporbildande tillsatsmedel som användes i de olika blandningarna beskrivet som procent av cementvikten

³ Rekommenderad mängd enligt produktblad är 0,01-0,08 % av cementvikten

⁴ De lufthalter som uppmättes vid laborationstillfället i den färska betongen. Tidsangivelsen är relaterad till blandningsstarten

⁵ De lufthalter som uppmättes vid planslipsanalys utförda av Cementa research AB

3.5 Modifierad L-låda, VU-SC: 47

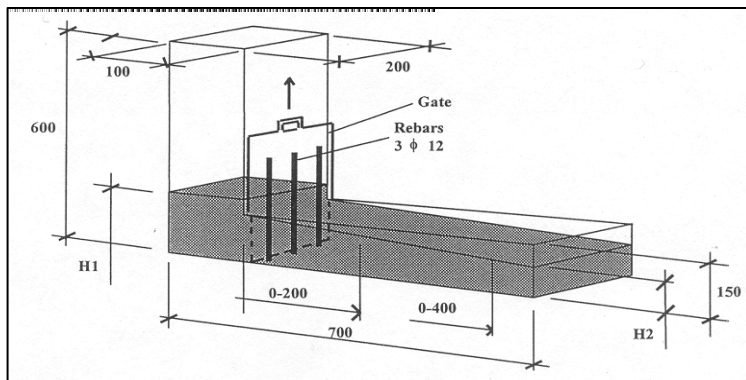
Den modifierade L-lådan påminner i mångt och mycket om den "traditionella" L-lådan som används för att kunna utvärdera den självkompakterande betongens passerings- och fyllningsförmåga. Tillvägagångssättet är i enlighet med VUAB:s provningsmetod VU-SC: 47.

Efter att den horisontala delen av L-lådan fyllts med vatten så placeras betongen i den vertikala delen. Luckan öppnas och betongen flyter ut mot den borte kortsidan. Tiden mäts vid fyra olika punkter (A-D) där den sista mätpunkten (D) är vid L-lådans borte kortsida. Slutligen, när betongens utflytning stannat, mäts höjderna H_1 och H_2 , se figurer 3.2 och 3.3 nedan.



Figur 3.2: Försöksuppställning med den modifierade L-lådan (vänster), bild från försök (höger).

Den modifierade L-lådan skiljer sig jämfört med den traditionella L-lådan som redovisas i Figur 3.3 nedan. De uppenbara skillnaderna är att den traditionella L-lådan inte fylls med vatten och att tiden mäts i en punkt mindre samt att det inte finns några armeringsjärn i den modifierade L-lådan.



Figur 3.3:

Traditionella L-lådan framtagen av CBI

Resultaten från dessa tester presenteras i Tabell 3.4 nedan. Kolumnerna A-D representerar tiden i sekunder det tar för betongen att flöda till respektive punkt, D motsvarar kortändan vilken betongen flödar mot. D.v.s. vid punkten D mäts höjden H_2 när betongen stannat.

Tabell 3.4: Resultat från försök utförda med den modifierade L-lådan, kolumnerna A-D är tiden i sekunder

Blandning	Flytmedel ¹	Lufthalt ²	A	B	C	D	H_2 (mm)
Referens	1,6 %	2,4 %	5	18	29	170	20
1	1,4 %	3,6 %	6	13	30	68	30
2	1,3 %	5,4 %	5	8	18	44	50
3	1,3 %	6,7 %	2	5	10	17	90
4	1,1 %	10,3 %	1	6	11	30	60

¹ Mängden flytmedel beskriven som procent av cementmängden

² Lufthalten beskrivs på samma sätt som i Tabell 3.3, d.v.s. som "Analyserad lufthalt".

I tidigare studie [3] beskrivs hur resultaten från den modifierade L-lådan skall tolkas. Betong som besitter goda flytegenskaper bör nå fronten på L-lådan inom 10-90 sekunder, vilket alla bandningar utom referensblandningen gör. Därefter så bör höjden, H_2 , vara någonstans inom intervallet 90-110 mm, vilket endast en blandning uppvisar prov på. Således kan slutsatsen dras, med avseende på betongens arbetbarhet, att mängden flytmedel kan ökas då resultaten i de flesta fall ligger under gränsvärdet.

3.6 Drop-test, VU-SC: 45

Det så kallade Drop-testet är ett sätt att mäta betongens utvaskningsbenägenhet. Provningsmetoden fungerar enligt följande. En korg med känd vikt fylls med betong och vägs. Den fyllda korgen förs sedan upp och ned tre gånger i den vattenfyllda cylindern, se Figur 3.4 nedan. Slutligen vägs korgen igen och den procentuella utvaskningen kan då bestämmas.



Figur 3.4: Försöksuppställning av Drop-test, den betongfyllda korgen sänkes ned i den vattenfyllda cylindern

I Tabell 3.5 presenteras resultaten från Drop-testet. Utvaskningen jämförs med tidigare resultat [3] och provningen utfördes i enlighet med VUAB:s provningsmetod VU-SC: 45. Resultaten visar att samtliga blandningar ligger under gränsvärdet på 10 % utvaskning, mängden flyttillsatsmedel kan således ökas en aning utan att utvaskningen blir för stor.

Tabell 3.5: Resultat från Drop-testet som visar på betongens benägenhet att utvaska

Blandning	Lufthalt ¹	Flytmedel ²	Utvaskning ³
Referens	2,4 %	1,6 %	2,9 %
1	3,6 %	1,4 %	2,6 %
2	5,4 %	1,3 %	4,8 %
3	6,7 %	1,3 %	7,6 %
4	10,3 %	1,1 %	8,9 %

¹ Lufthalten som beskrivs i Tabell 3.3 som "Analyserad lufthalt"

² Mängden flytmedel beskriven som procent av cementmängden

³ Utvaskningen är beskriven som procentuell viktförlust och enligt [3] så betraktas en utvaskning < 10 % som acceptabel

3.7 Sättnmätt och utbredningsmätt

Sättnmättet är ett mått på en betongs arbetbarhet. En betong som är ämnad för undervattensgjutning skall ha ett sättnmätt större än 120 mm. oavsett ifall AUV-medel ingår i blandningen eller inte [4]. För att uppnå ett bra resultat samt att göra det möjligt att pumpa betongen bör den uppvisa ett relativt högt sättnmätt. Utbredningsmättet utfördes inte med hjälp av ett så kallat skakbord, utan mättes efter utfört sättnmätt på samma betongprov.



Figur 3.5:
Utbredningsmätt
från referens-
blandningen

I Tabell 3.6 nedan redovisas resultaten från sätt- och utbredningsmätt utförda på Älvkarlebylaboratoriet. Även resultaten av denna provningsmetod påvisar att doseringen av flytmedel borde ha vara högre, för en bättre utflytningsförmåga, speciellt gäller detta resonemang för blandningarna 1-2.

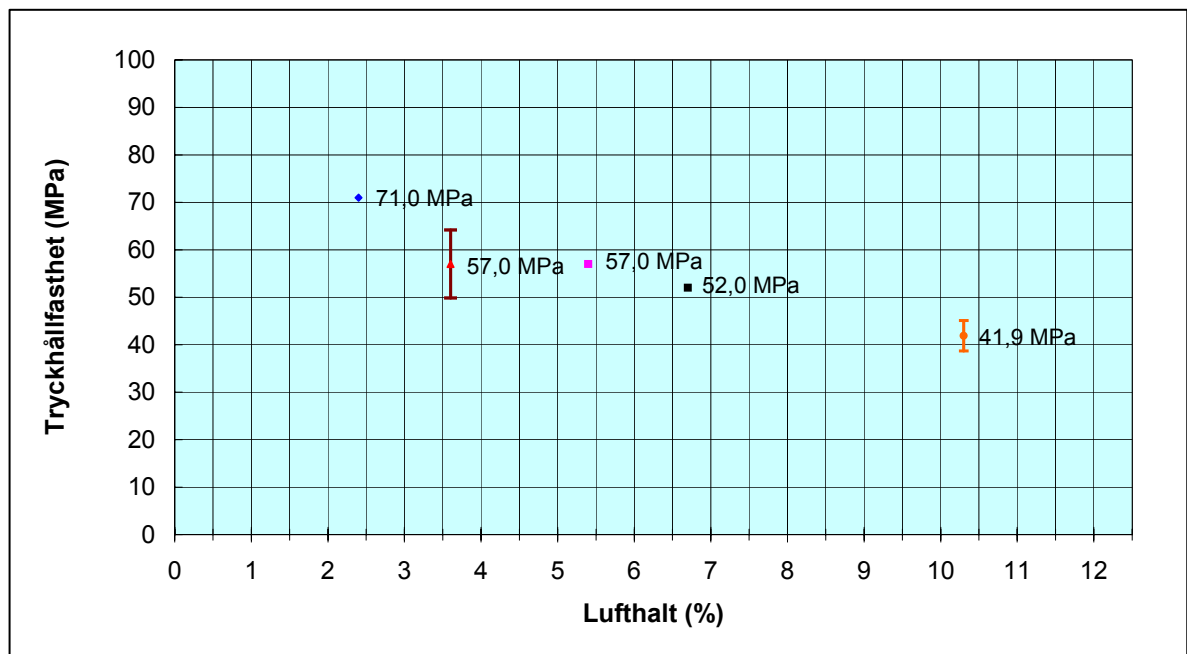
Tabell 3.6: Resultat från provning av sätt- och utbredningsmått

Blandning	Lufthalt ¹	Sättmått	Utbredningsmått
Referens	2,4 %	230 mm	430 mm
1	3,6 %	235 mm	440 mm
2	5,4 %	245 mm	500 mm
3	6,7 %	255 mm	550 mm
4	10,3 %	250 mm	550 mm

¹ Lufthalten som beskrivs i Tabell 3.3 som "Analyserad lufthalt"

3.8 Tryckhållfasthet, SS 13 72 10

Från de olika betongblandningarna så gjöts kuber som härdades 28 dygn och så provades tryckhållfastheten enligt provningsmetod SS 13 72 10. Resultaten från provtryckningen av de gjutna betongkuberna redovisas i Figur



3.6 och Tabell 3.7.

Figur 3.6: Tryckhållfastheten som funktion av lufthalten

Det är endast två av mätserierna i Figur 3.6 som uppvisar sådana standardavvikelser så att det går att urskilja de i diagramform. Standardavvikelsen i mätpunkten längst till höger i Figur 3.6 kan troligtvis härledas till den relativt höga halten av luft som finns i betongen, vilket resulterar i en större spridning i tryckhållfasthet. Den andra mätpunkten, näst längst till vänster, är resultatet av att en kub i serien föll rejält utanför normalfördelningen, se Tabell 3.7 för numeriska värden.

Tabell 3.7: Resultat av tryckhållfasthetsprovning

Blandning	Lufthalt ¹	Enskilda värden (MPa)			Tryckhållfasthet (MPa)
Referens	2,4 %	70,9	72,1	70,0	71±1,05
1 ²	3,6 %	65,6	65,2	40,6	57±14,23
2	5,4 %	56,5	55,6	58,6	57±1,54
3	6,7 %	50,5	53,1	52,6	52±1,38
4	10,3 %	36,0	40,9	48,7	42±6,40

¹ Lufthalten som beskrivs i Tabell 3.3 som "Analyserad lufthalt"

² Resultatet är medelvärdet av tre kuber, i detta fall klarade två av kuber cirka 65 MPa medan en klarade endast cirka 40 MPa

3.9 Planslipanalys, SS-EN 480-11

Syftet med en planslipanalys är att fastställa lufthalten samt strukturen på luftporsystemet i den härdade betongen. Detta görs genom att bestämma medelstorleken på luftporerna samt medelavståndet mellan dem. Denna analys utfördes av Cementa Research AB. Enligt tidigare rapporter [1, 2] så bör inte den så kallade avståndsfaktorn vara mindre än 0,25-0,30 millimeter (i sötvatten) och den specifika ytan bör vara större än 22-25 mm²/mm³ för att betongen skall anses vara frostbeständig. I Tabell 3.8 redovisas Cementa Research AB testresultat. Ingen av blandningarna klarar ovan nämnda gränsvärden. Blandning nummer 3 är den blandning som närmast uppfyller de ställda kraven.

Tabell 3.8: resultat från planslipsanalys utförd av Cementa Research AB

Blandning	Lufthalt ¹	Avståndsfaktor (mm)	Specifik yta (mm ² /mm ³)
Referens	2,4 %	0,71	10
1	3,6 %	0,37	15
2	5,4 %	0,33	15
3	6,7 %	0,25	17
4	10,3 %	0,23	12

¹ Lufthalten som beskrivs i Tabell 3.3 som "Analyserad lufthalt"

3.10 Analys av frostbeständighet/avflagning vid frysning, SS 13 72 44

Efter att betongkuberna gjutits och lagrats i 31 dygn så delades de för provning av avflagning i salt- och sötvatten. Betongen provades samantaget under 112 fryscykler. Medelvärdena från provningen efter olika fryscykler redovisas nedan i Tabell 3.9 och på nästkommande sida. Temperaturen varierar i medeltal mellan +20°C till -18°C under en 24 timmars period. Samtliga provkroppar uppvisar mycket god frostbeständighet i sötvattenmiljö, jämför med Tabell 3.11.

Tabell 3.9: Provningsresultat från frostbeständighetsprovning i sötvatten

Blandning	Lufthalt ¹	7	14	28	42	56	70	84	98	112
		Ackumulerad avflagning kg/m ²								
Referens	2,4 %	0,0	0,0	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
1	3,6 %	0,0	0,0	0,0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
2	5,4 %	0,0	0,0	0,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
3	6,7 %	0,0	0,0	0,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
4	10,3 %	0,0	0,0	0,0	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02

¹ Lufthalten som beskrivs i Tabell 3.3 som "Analyserad lufthalt"

Tabell 3.10: Provningsresultat från frostbeständighetsprovning i saltvatten

Blandning	Lufthalt ¹	7	14	28	42	56	70	84	98	112
		Ackumulerad avflagning kg/m ²								
Referens	2,4 %	0,04	0,12	0,31	0,44	0,55	0,62	0,67	0,70	0,74
1	3,6 %	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07	0,07	0,08
2	5,4 %	0,0	0,0	0,0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
3	6,7 %	0,0	0,0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
4	10,3 %	0,01	0,02	0,02	0,03	0,06	0,07	0,07	0,09	0,10

¹ Lufthalten som beskrivs i Tabell 3.3 som "Analyserad lufthalt"

Kloridhalten var 3 % (enligt standard) i det vatten som användes vid provningen. Frostbeständigheten hos provkroppar (med lufttillsats) utsatta för saltvattenmiljö bedöms vara mycket god.

Riktvärden för standarden [7] som knyts till provningen redovisas ned i Tabell 3.11 och dessa tar inte hänsyn till huruvida vätskan som används som frysmedium vid provningen innehåller 3 % natriumklorid eller inte.

Tabell 3.11: Beskrivning av hur resultaten bedöms enligt standard SS 13 72 44

Bedömning	Krav
Mycket god frostbeständighet	Avflagningarnas medelvärde vid 56 cykler (m_{56}) är mindre än 0,10 kg/m ² .
God frostbeständighet	Avflagningarnas medelvärde vid 56 cykler (m_{56}) är mindre än 0,20 kg/m ² eller Avflagningarnas medelvärde vid 56 cykler (m_{56}) är mindre än 0,50 kg/m ² samtidigt som m_{56}/m_{28} är mindre än 2 eller Avflagningarnas medelvärde vid 112 cykler (m_{112}) är mindre än 0,50 kg/m ² .
Acceptabel frostbeständighet	Avflagningarnas medelvärde vid 56 cykler (m_{56}) är mindre än 1,00 kg/m ² samtidigt som m_{56}/m_{28} är mindre än 2 eller Avflagningarnas medelvärde vid 112 cykler (m_{112}) är mindre än 1,00 kg/m ² .
Inte acceptabel frostbeständighet	Om inte något av ovanstående krav uppfylls

4 Slutsatser från förstudien

I föregående kapitel redovisades de provningar som utförts på olika blandningar innehållande antiutvaskningsmedel och varierande mängder av flytmedel och luftporbildande tillsatsmedel. Slutsatsen av den utförda provningen säger att det är möjligt att framställa en betong som har de egenskaper som eftersträvas för att uppnå en frostbeständig betong för undervattensgjutningar.

Dessa egenskaper är förutom frostbeständighet, arbetbarhet, goda utvaskningsegenskaper samt en tillfredställande tryckhållfasthet hos den härdade betongen.

Genom att analysera resultaten från de tester som redovisas i kapitel 3: Förstudie, så görs bedömningen att en frostbeständig betong som torde passa bra för undervattensgjutningar skulle innehålla:

- Flytmedel motsvarande 1,5-1,7 procent av cementvikten bör tillsättas för att betongen skall kunna uppvisa tillfredställande egenskaper i det färska tillståndet, med reservation för ändring på grund av eventuella skalningseffekter (sättningsmått ≥ 250 mm.)
- Betongens lufthalt i det färska tillståndet bör kunna uppmätas till någonstans kring 5-6 procent vid arbetsplatsen för att frostbeständighets-, arbetbarhets- och utvaskningsegenskaperna skall kunna bedömas som goda. Det är svårt att bedöma hur mycket eventuella skalningseffekter påverkar proportioneringen

Förutsättningarna för ovanstående slutsatser är nämnda tidigare i kapitel 3, men andra viktiga förutsättningar för att slutsatserna skall gälla är också att antiutvaskningsmedlet är proportionerat enligt vad som benämns som normal dosering, 2 kg/m³ betong, enligt leverantörens produktblad [8].

5 Fullskaleförsöket

Detta kapitel av rapporten beskriver fullskaleförsöket enligt Vägverkets publikation [9] till vilken förstudien som redovisas i kapitel 2 är knuten till. Försöket utfördes vid Älvkarleby laboratoriet. Betongvolymen som användes vid gjutningen var 5 m³ och bestod av tre mindre blandningar, två blandningar på 1 m³ och en på 3 m³.

5.1 Blandningsförfarande

Blandningen av 5 m³ betong utfördes i tre steg. Detta för att kontrollera och parera eventuella skalningseffekter av icke önskvärd natur. Dessa skalningseffekter kan vara försämrade flytegenskaper och/eller oönskat luftinnehåll. I Tabell 5.1 redovisas blandningsförfarandet och det ackumulerade tidsförloppet från det att första blandningen påbörjades. Nackdelen med detta förfarande är att blandningstiden blir relativt lång, vilket i sin tur kan resultera i att betongen måste justeras med extra tillsats av flytmedel innan själva gjutningen kan påbörjas. I detta specifika fall så var betongstationen belägen 40 minuter ifrån gjutplatsen, detta förlängde ytterligare betongens öppethållande tid.

Tabell 5.1: Beskrivning av blandningsförfarande med avseende på ackumulerad tid från blandningsstart

Blandning ^A	Luft		Flytmedel ^D	Sättnmätt	Utbrednings- mätt	Ack. Tid ^E
	Tillsatt ^B	Uppmätt ^C				
1 m ³	0,5 %	2,2 %	1,3 %	230 mm.	500 mm.	5 min.
1 m ³	0,7 %	6,6 %	1,5 %	260 mm.	600 mm.	37 min.
3 m ³	0,6 %	4,0 %	1,4 %	250 mm.	530 mm.	72 min.
Transport ^F						
5 m ³	0,6 %	2,1 %	1,4 %	250 mm.	530 mm.	138 min.
	0,6 %	3,0 %	1,55 %	260 mm.	550 mm.	158 min.
	0,6 %	3,2 %	1,65 %	260 mm.	580 mm.	173 min.
Mätning ^G	0,6 %	4,4 %	1,65 %			257 min.

^A Beskrivning av de tre olika blandningarna som ingick i de 5 kubiketrarna som användes vid gjuttillfället

^B Andel luftporbildande tillsatsmedel tillsatt i betongen beskriven som viktprocent av cementmängden

^C Uppmätt luftmängd i betongens färska tillstånd, enligt avsnitt 3.4

^D Mängd flytmedel tillsatt i betong beskriven som viktprocent av cementmängden

^E Den ackumulerande tiden från och med att den första blandningen påbörjades

^F Transport mellan Forsbacka och Älvkarleby

^G När pumpmunstycket flyttades från form 1 till form 2 tappades betong ut för provning

5.2 Utförande - Fullskaleförsök

Under fullskaleförsöket kontrollerades, förutom kraven som ställs i Vägverkets publikation [9] betongens luftmängd, utvasknings- och flytegenskaper. Detta utfördes som beskrivs i kapitel 3 och resultaten redovisas längre fram i detta kapitel. I Figur 5.1 visas uppställningen av betongpumpen, roterbilen och "form 1".



Figur 5.1: Uppställning och utförande av gjutning av vad som beskrivs som "form 1" i Vägverkets publikation [9]

Betongens färska egenskaper bedöms som goda jämfört med de krav som ställs i Vägverkets Publikation 2002:50. Betongens nivellerande egenskaper visas i Figur 5.2. Bilderna kommer från provning med den modifierade L-lådan som beskrivs tidigare i rapporten, se kapitel 3.5 och gjutning av vad som benämns som "form 2" i Vägverkets publikation [9].



Figur 5.2: Nivellering vid provning med den modifierade L-lådan (vänster). Gjutfronten vid gjutning av vad som beskrivs som "form 2" i Vägverkets publikation [9]

5.3 Resultat av provning i det färska tillståndet

De prover som utfördes innan och under fullskalegjutningen var enligt följande:

- Lufthaltskontroll
- Modifierad L-låda
- Drop-test
- Sättningsmått och utbredningsmått

Det vill säga exakt samma typer av provningsmetoder som utfördes vid förstudien. Resultaten av provningen vid fullskaleförsöket redovisas nedan.

5.3.1 Kontroll av lufthalt, SS 13 71 24

Lufthalten precis innan gjutning var 3,2 %. När halva gjutningen var avslutad så kontrollerades luften igen och då var den 4,4 % (från 1,4 till 1,65 viktprocent av mängden cement) som tillsattes efter den 45 minuter långa transporten. Luftvolymen var således 0,6 procent mindre än vad som önskades (kapitel 4).

5.3.2 Modifierad L-låda, VU-SC: 47

Då mängden flytmedel ökades relativt de mängder som användes vid de försök som utfördes i förstudien, kapitel 3, så förbättrades arbetbarheten avsevärt.

Tabell 5.2: Resultat av provning med den modifierade L-lådan

A	B	C	D	H ₁	H ₂	H ₂ /H ₁
2 s.	4 s.	7 s.	12 s.	140 mm.	120 mm.	0,86

Resultaten från provningen med den modifierade L-lådan bedöms som mycket bra då dessa resultat möter de riktlinjer som ställs vid provning av självkompakterande betong [10] med den traditionella L-lådan, $H_2/H_1 > 0,80$, som beskrivs i kapitel 3.5. Med reservation, då inga armeringsjärn sitter i "luckan" på den modifierade L-lådan.

5.3.3 Drop-test, VU-SC: 45

Även resultaten från provningen av betongens utvaskningsbenägenhet bedöms som goda. Betongen som användes i fullskaleförsöket anses som jämförbara med resultatet från förstudien, se kapitel 3.

Tabell 5.3: Resultat från Drop-testet utfört under fullskalegjutningen

Försök	Före (gr.)	Efter (gr.)	Utvaskning (gr.)	Utvaskning (%)
1	2213	2074	139	6,3
2	2332	2181	151	6,5
3	2259	2137	122	5,4
A	Medel 2268	2131	137	6,1

Utvaskningen mättes i samtid med att lufthalten kontrollerades, det vill säga vid en uppmätt lufthalt på 4,4 procent.

5.3.4 Sättningsmått och Utbredningsmått

Sätt- och utbredningsmått mättes kontinuerligt under hela försöket (prover tagna under själva gjutningen). Med början vid första blandningen och slutligen innan formarna började fyllas. Provning av sätt- och utbredningsmått utfördes samtidigt, allt enligt vad som redovisas i Tabell 5.4.

Tabell 5.4: Resultat från provning av sätt- och utbredningsmått

Aktivitet	Millimeter	Mängd flytmedel	Uppmätt lufthalt
Sättningsmått	230	1,4 %	2,2 %
Utbredningsmått	500	1,4 %	2,2 %
Sättningsmått	260	1,5 %	6,6 %
Utbredningsmått	600	1,5 %	6,6 %
Sättningsmått	250	1,4 %	4,0 %
Utbredningsmått	530	1,4 %	4,0 %
Sättningsmått	250	1,4 %	2,1 %
Utbredningsmått	530	1,4 %	2,1 %
Sättningsmått	260	1,55 %	3,0 %
Utbredningsmått	550	1,55 %	3,0 %
Sättningsmått	260	1,65 %	3,2 %
Utbredningsmått	580	1,65 %	3,2 %

6 Utvärdering av fullskaleförsöket enligt publikation 2002:50

Fullskaleförsöket utfördes i enlighet med Vägverkets publikation 2002:50. I kommande avsnitt i detta kapitel redovisas resultaten från de olika delarna i försöket.

6.1 Gjutningsförfarandet

Försöket började med att formtyp 1 (med armering) gjöts. Gjutning skedde i en etapp upp till ca 1 meter ovanför botten vid kortsidan närmast gjutröret. Vid nivåmätning 10 minuter efter avslutad gjutning uppmättes en maximal nivåskillnad på 40 mm.

Högsta tillåtna värde är 50 mm, **kravet är därmed uppfyllt.**

Formtyp 2, den form som inte innefattar någon armering, gjöts efter att gjutningen av formtyp 1 slutfördes. Gjutningen utfördes i två etapper. Första etappen bestod av cirka 600 liter och den andra etappen av cirka 400 liter.

Maximal nivåskillnad efter första etappen var 78 mm och efter andra etappen 40 mm. Högsta tillåtna nivåskillnad efter etapp två är 100 mm, **kravet är därmed uppfyllt.** Ett annat krav var att betongen skall ha nått fram till kortsidan längst från pumpröret efter första etappen, vilket även var fallet och **kravet är därmed uppfyllt.**

6.2 Provning av den färska betongen

Vid ankomst till laboratoriet tillsattes 5 kg (0,25 % av cementvikten) flytmedel i roterbilen. Betongen blandades sedan 5 minuter i betongbilen. Varvtalet på rotern var 12.5 varv/minut.

Betongens konsistens mättes genom sättmått och utbredningsmått. Sättmåtsbestämningen utfördes enligt SS-EN 12350-2 med följande undantag och tillägg:

- Sättmått större än 150 mm accepteras.
- Mätningar utfördes efter en och tre minuter efter att konen lyfts samt när utflytningen av betongmassan avstannat.
- Även betongens utbredning mättes

Utbredningsmått enligt SS-EN 12350-5 mättes. **Samtliga krav uppfylldes.**

6.3 Besiktning och spräckning av provkroppar efter 21 dygn

Vid besiktningen av provkropparna, innan spräckning, fanns ingen blåsbildning eller sprickbildning. På ytan av provkropparna kunde endast ett mycket tunt skikt av slam skrapas bort.

Spräckning av provkropp typ 1, utfördes av Betonglaboratoriet vid Vattenfall Utveckling AB med Finja Bemix Betonamit Snigeldynamit. Vid besiktning fanns ingen slam- eller blåsbildning vid armeringsjärnen. Anslutning mellan armering och betong såg bra ut. **Uppställt krav är därmed uppfyllt.**

6.4 Provtryckning av kuber

21 stycken 150 mm kuber provtrycktes av Betonglaboratoriet vid Vattenfall Utveckling AB. Resultaten från provtryckningen redovisas i Tabell 6.1.

Tabell 6.1: Hållfasthetsvärden vid provning

Ålder [dygn]	Densitet [Kg/m ³]	Tryckhållfasthet			Tryckhållfasthet
		Enskilda värden [MPa]			Medel [MPa]
1	2380	7,2	7,4	6,0	6,9
2	2380	16,9	18,0	15,4	16,8
3	2360	21,0	24,3	23,4	22,9
7	2380	34,0	34,0	32,9	33,6
14	2300	45,0	44,5	45,8	45,1
28	2350	56,4	55,3	53,6	55,1
91	2300	55,0	58,9	58,0	57,3

Resultaten vid 28 dygn ska uppfylla kraven för hållfasthetsklass C28/35 enligt SS-EN 206-1 (SS 13 70 03). Eftersom kuberna lagrats enligt SS 13 72 10 (torrlagrade) ger en omräkning av resultatet vid 28 dygn $0,92 \times 55,1 = 50,7$ MPa.

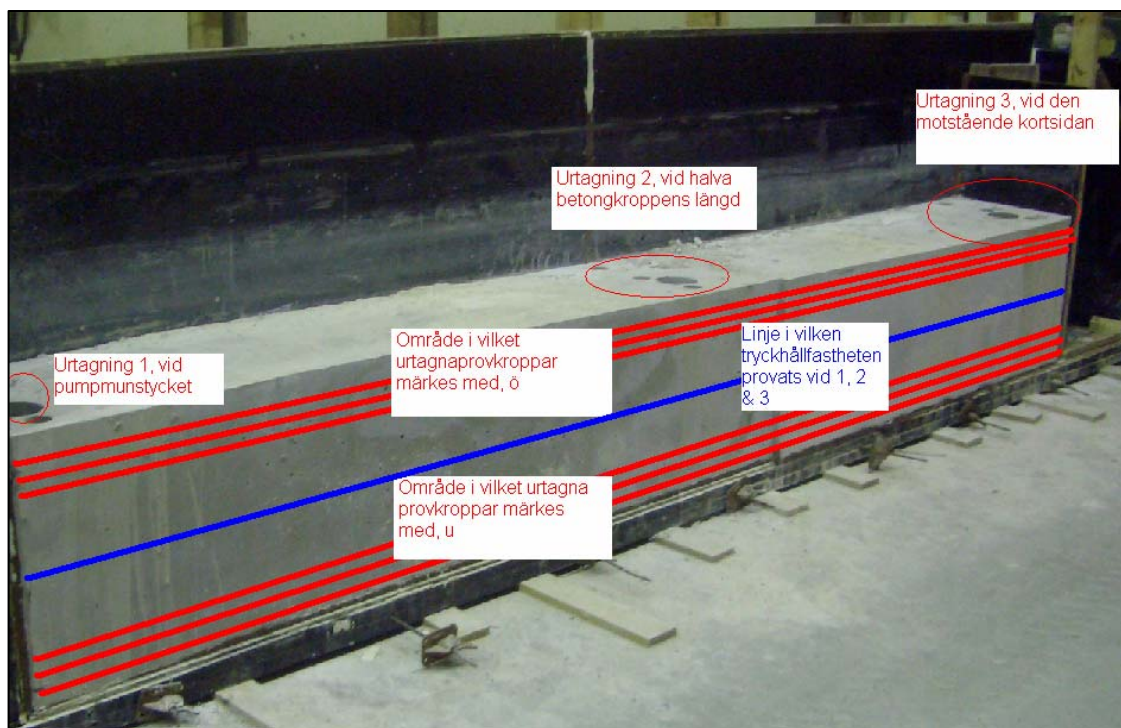
Medelvärdet skall vara $35+4$ MPa = 39 MPa och enskilt värde $> 35-4=31$ MPa. **Resultatet på tryckhållfasthet uppfylls.**

6.5 Sammanfattning av resultat med avseende på publikation 2002:50

Undervattensgjutningen samt resultaten från provningen av den gjutna betongen uppfyllde alla de krav som för närvarande ställs på undervattensgjuten betong. Detta enligt Vägverkets publikation 2002:50.

7 Provning av betongkroppens härdade tillstånd

Urtagningen av provkroppar från de gjutna betongkropparna utfördes cirka en månad efter gjutningen. Betongkroppens bas var 500 mm. bred och höjden var i medel 440 mm, längden var 4000 mm. Provkropparna borrades ut vid tre olika positioner i längdled, (1) där pumpmunstycket var placerat vid gjuttillfället, (2) i mitten av betongkroppen och slutligen vid (3) motstående kortsida.



Figur 7.1: Beskrivning av de uttagna provkroppars lägen i den gjutna betongkroppen

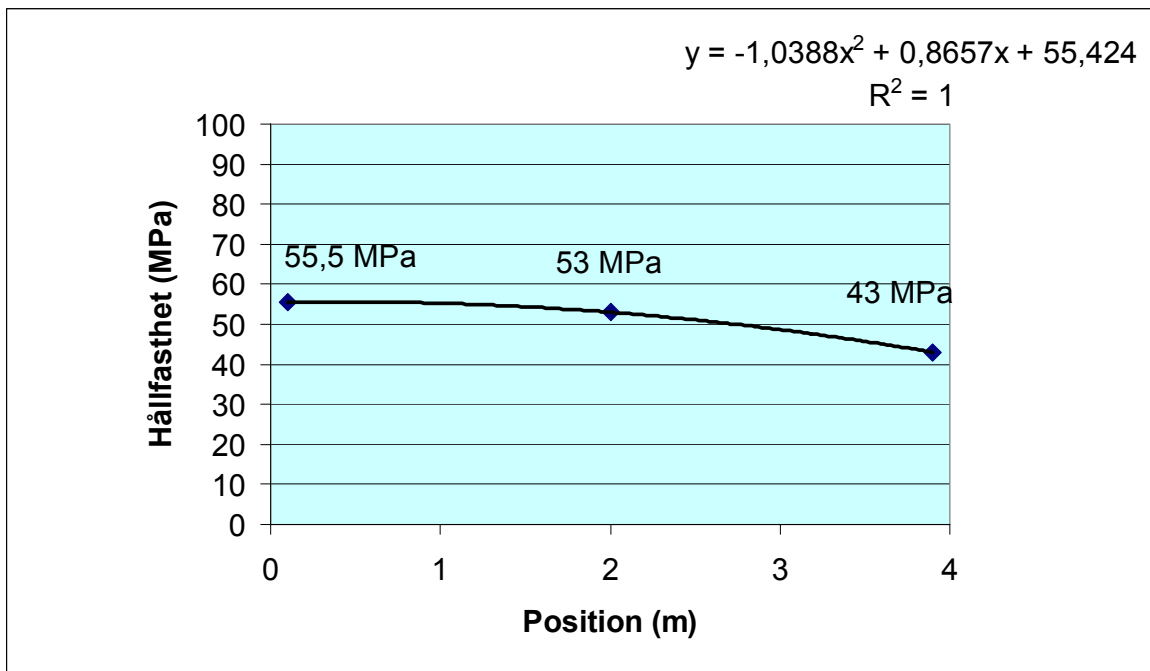
De provningsmetoder som användes för att analysera de hårdnade provkropparna var:

- Tryckhållfasthet
- Planslipanalys, innefattande avståndsfaktor, luftinnehåll samt specifik yta
- Dynamisk E-modul (inre frostbeständighet)
- Boråsmetoden, Avflagning såväl i salt som i sött vatten

7.1 Tryckhållfasthet, SS 13 72 10

Tryckhållfastheten som undersöktes, utöver den obligatoriska utvärderingen av tryckhållfasthetsutveckling enligt Vägverkets publikation [9] var cylindrar uttagna vid 1, 2 och 3 enligt ovan beskrivning, i en tänkt mittlinje i förhållande till höjden. Hur hållfastheten varierar med avståndet från pumpmunstycket redovisas i Figur 7.2.

En trolig förklaring till att hållfastheten minskar med avståndet från positionen där munstycket var placerat vid gjutningen kan dras från planslipsanalysen och densitetsvariationerna som redovisas i avsnitt 7.2.



Figur 7.2: Hållfasthetsfördelning med avseende till positionen i längdled. X-axelns sträckning sammanfaller med formens längd, d.v.s. Y-axeln motsvarar den kortsida av formen som är närmast den placering munstycket hade vid gjuttillfället

7.2 Planslipsanalys, TI-B4/ASTM C 457

Provkroppar uttagna från betongkroppen som beskrivs tidigare i Figur 7.1 utsattes för så kallad planslipsanalys av Dansk betontechnik. Vid denna analys så fastställdes:

- Det faktiska luftinnehållet i betongen efter hårdnad
- Luftporernas avståndsfaktor
- Luftporernas specifika yta
- Pastainnehåll

Tabell 7.1: Resultat från planslipanalysen, En trolig separation kan utläsas av det varierande pastainnehållet i de olika provningspositionerna

Provkropp	Lufthalt (%)	Spec.yta (mm^{-1})	Avståndsfaktor (mm)	Pastainnehåll (%)
1 Ö	3,4	25	0,23	28
1 U	3,6	23	0,24	28
2 Ö	5,8	31	0,18	40
2 U	5,3	25	0,19	27
3 Ö	13,9	19	0,17	45
3 U	5,9	21	0,23	30

Enligt Fagerlund [5] så bör inte avståndsfaktorn överskrida 25 mm. för att möjliggöra transporten av fukt/vatten vid frysning. Vidare bör luftporernas specifika yta vara större än $22\text{--}25 \text{ mm}^2/\text{mm}^3$ för att betongen skall anses vara frostbeständig.

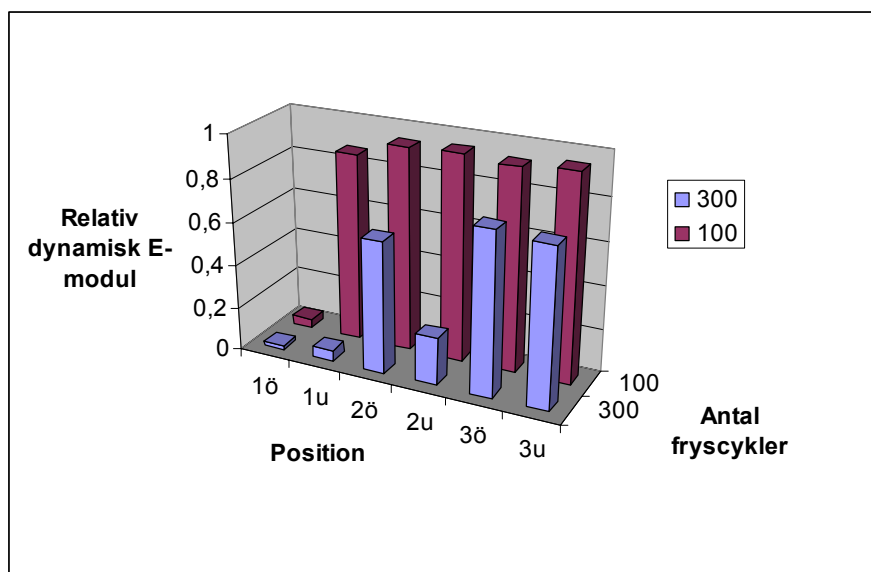
Tabell 7.2: Fördelad luftporstorlek vid de olika provningspositionerna

Provkropp	Lufthalt	<0,35 mm (%)	0,35-1,5 mm (%)	1,5-2,0 mm (%)	>2,0 mm (%)
1 Ö	3,4	1,9	1,3	0,1	0,1
1 U	3,6	2,1	1,4	0,1	0,0
2 Ö	5,8	4,9	0,9	0,0	0,0
2 U	5,3	3,4	1,9	0,0	0,0
3 Ö	13,9	6,8	5,9	0,2	1,0
3 U	5,9	2,8	2,0	0,1	0,9

7.3 Inre frostbeständighet, ASTM 666-85

Provning av den härtnade betongens inre frostbeständighet utfördes vid Lunds tekniska högskola. Mätning av provkropparnas egenfrekvens (Hz) utfördes enligt ASTM 215-985. Betongkroppens egenfrekvens kan sedan omräknas till enheten Pa med hjälp av bland annat provkroppens geometri och vikt. Den benämns då som dynamisk elasticitetsmodul. Den dynamiska elasticitetsmodulen mäts efter 100 och 300 cykler. Kravet som ställs på inre frostbeständighet efter 300 fryscykler är att 60 % av den elasticitetsmodul som uppmättes innan provningen påbörjades skall finnas. Temperaturvariationen var $+15^\circ\text{C}$ till -25°C med en hastighet av 10°C per timme².

² Provningsrapport U04.10, Lunds Tekniska Högskola



Figur 7.3: Resultat av mätning av inre frostbeständighet, provning utförd vid Lunds tekniska universitet [11]

Resultaten visar att betongen som är belägen längst från gjutröret, position 3 ö och u, samt den betong som är belägen i ovankant i mitten av provkroppen, position 2 ö klarar kraven för inre frostbeständighet. Resultaten pekar på att en separation uppstod vid gjuttillfället. Separationen har med största sannolikhet lett till att betongens pasta (cement, finmaterial samt blandningsvatten) i vilken luftporerna är belägna har anrikats längst ifrån gjutröret och i ovankant på grund av den grövre ballastens högre densitet [11].

7.4 Analys av frostbeständighet/avflagning vid frysning, SS 13 72 44

Frostbeständigheten provad enligt SS 13 72 44, den så kallade Boråsmetoden utfördes på fyra olika positioner i provkroppen, 1 u och ö samt 3 u och ö. Provningspositionerna se Figur 7.1 och för resultat se Tabell 7.3. I samtliga fall bedöms frostbeständigheten som mycket god, jämför med gränsvärden som presenteras i Tabell 3.11, avsnitt 3.10.

Tabell 7.3: Resultat från SS 13 72 44, salt- och sötvatten

Position	Lufthalt ¹	7	14	28	42	56
		Ackumulerad avflagning kg/m ²				
1u (salt)	3,6 %	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
1ö (söt)	3,4 %	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
3u (salt)	5,9 %	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
3ö (söt)	13,9 %	0,00	0,02	0,03	0,03	0,04

¹ De lufthalter som uppmättes vid planslipsanalys är utförda av Dansk betonteknik.

7.5 Densitetsvariationer i den hårdnade betongkroppen

Betongens densitet vid olika positioner ger bl.a. information om det finns anledning att ana att en separation uppstått under gjutningen, i detta fall är det relativt synligt, se Tabell 7.4. I tabellen kan man skönja en tendens att densiteten minskar med ökat avstånd från mynningsventilens position vid gjuttillfället.

Tabell 7.4: Densitetsvariationer vid olika positioner i betongkroppen, densiteterna är mätta vid provning av den inre frostbeständigheten [11]

Position	Densitet kg/m³
1 Ö	2358
1 U	2388
2 Ö	2274
2 U	2342
3 Ö	2063
3 U	2238

8 Slutsats

Denna studie visar att det är möjligt att tillverka och gjuta under vatten med betong innehållande antiutvaskningsmedel och samtidigt erhålla tillfredställande resultat med avseende på frostbeständighet. Samtidigt som betongen uppvisade mycket god frostbeständighet vid provning enligt SS 13 72 44 så klarade också betongen alla krav som ställs vid provning enligt Vägverkets Publikation [9]. Detta visas dels vid halvskaleförsöken (förstudien) samt vid fullskaleförsöket med den betong som beskrivs i Vägverkets publikation [9]. Frostbeständigheten bedöms som mycket god med avseende till provning utförd enligt SS 13 72 44, även då betongen som användes i fullskaleförsöket visade sig innehålla cirka 3 % luft när den ankom till provningsplatsen, d.v.s. cirka 2-3 % mindre än vad som eftersträvades.

Trots att den betong som användes vid fullskaleförsöket i denna studie visade tendenser till separation så motsvarade betongens frostbeständighet de krav som ställs genom standard SS 13 72 44 A-B (salt- och sötvatten). Resultaten från ASTM 666-85 (inre frostbeständighet) visar att den separerade betongen inte klarar kravet som ställs på frostbeständighet efter 300 cykler. Endast de delar av betongkroppen som anrikas av pastan, d.v.s. den övre samt borte delen av betongkroppen klarar dessa krav. Det är viktigt att påpeka att det är väsentliga skillnader mellan de två provningsmetoderna som användes för frostprovning.

Betongens separation (fullskaleförsöket) ligger sannolikt till grund för den med avståndet till mynningsventilen minskade tryckhållfastheten och densiteten. Vidare går det att tyda att frostbeständigheten ökar med avståndet från placeringen av mynningsventilen (ASTM 666-85), detta skulle kunna bero på att större volymer pasta (luften) fördelas i de borte och övre delarna av betongkroppen.

9 Rekommendation

Studiens resultat påvisar vikten av kraftig överdosering av luftporbildande medel då betongen innehåller antiutvaskningsmedel. Ett riktvärde för undervattensgjuten betongs luftinnehåll är cirka 7-8 %³ då betongbilen lämnar stationen för att kunna parera eventuella förluster som uppstår vid transport (körsträcka och typ av fraktsätt) och pumpning. Ett riktvärde för "stabil" lufthalt vid arbetsplatsen efter pumpning torde vara någonstans i storleksordningen kring 5-6 %.

Vid gjutning bör ett lass provas innan själva produktionen startar på allvar för att kunna upptäcka och parera eventuella effekter av transporten. Exempelvis så kan provningen gå till på följande sätt, en bil fylls och betongen transporteras till arbetsplatsen där betongen pumpas och lufthalten mäts 3-4 gånger under pumpningen. Därefter kan lämplig justering av tillsatsmedel göras och produktionen kan starta.

³ Styrker tidigare resultat Björkenstam E. [3]

10 Referenslista

- [1] Krus J. "Geografiskt betingande fryscyklar i svenska betongkonstruktioner" Kth rapport 39, Brobyggnad 1996, ISSN 1103-4289
- [2] G. Fagerlund "Betongkonstruktioners Beständighet" Cementa februari 1987
- [3] E. Björkenstam. "En studie av undervattensbetong med antiutvaskningsmedel" Elforskrapport november 2002
- [4] Vägverket, "BRO 2004", Undervattensgjuten konstruktion, avsnitt 46.24
- [5] G. Fagerlund "Betongkonstruktioners Beständighet" Cementa februari 1987
- [6] Rapport från Cementa Research AB – 2003-12-04 provningsnummer 121750-121754. Handläggare Rune Danielsson. Cementa Research.
- [7] SIS handbok 5:2002, 1:a utgåvan, "Betongprovning med svensk standard", SIS Förlag AB, Kristianstad 2002
- [8] Produktblad Sika UCS "Stabiliseringsmedel för undervattensbetong" BSAB Z1 SfB Yu2 2000-11-27
- [9] Vägverkets Publikation 2002:50 "Antiutvaskningsmedel"
- [10] P. Billberg. "Self-compacting concrete for civil engineering structures – the Swedish experience" CBI report 2:99, ISSN 0346-8240, Stockholm 1999
- [11] Provningsrapport U04.10, Lund Tekniska Högskola "Inre frostbeständighet hos undervattensgjuten, självkompakterande betong", 2004-09-20. Handläggare Bertil Persson

Artikel I. Sammanställning av undersökningen av BatMan, Del 2

A.1 Sammanfattning

Drygt 300 broar i Gävleborgs och Uppsalas län har undersökts med hjälp av databasen "BaTMan". Målsättningen att fastställa vilka av dessa som är lämpliga objekt för att användas vid urtagning av provkroppar. 36 broar av dessa drygt 300 broar bedöms som intressantare än de övriga. Av dessa 36 broar finns det ytterligare 7 broar som anses vara så pass intressanta att de borde undersökas närmare. Uppgifter om betongen i dessa broar måste undersökas samt att de broar som väljs från denna undersökning också borde besökas för att säkert kunna bedöma ifall det är praktiskt möjligt att utföra de planerade aktiviteterna. Vidare så finns det inget skrivet om antiutvaskningsmedel i Bro 88. Noteringar om användandet av AUV-medel kommer först i Bro 94, det borde betyda att ingen av de broar som byggdes tidigare än 1994 kan bestå av betong som innehåller AUV-medel, det är i emellertid osäkert huruvida detta påstående stämmer eller inte.

A.2 Metod

Denna del av projektet innefattar en genomgång och sökning av lämpliga objekt som skall utsättas för provning i del 2. Sökningen begränsas till broar i Gävleborgs och Uppsalas län, detta för att hålla nere eventuella framtida kostnader då urtagning och provning i fält kan vara ett relativt kostsamt företag.

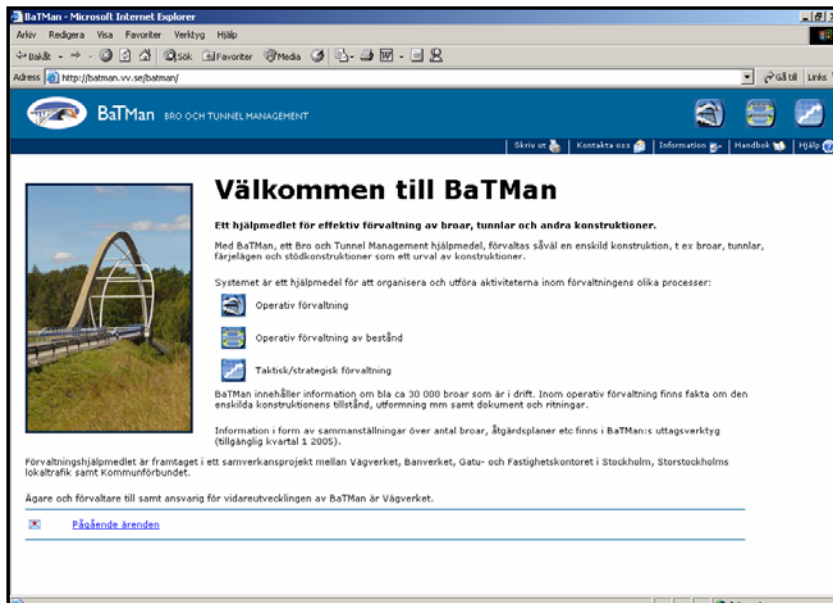
Drygt 300 hundra broar undersöktes i databasen "BaTMan" och tillvägagångssättet beskrivs nedan. De broar som ingick i undersökningen redovisas sist i dokumentet. Enligt "BaTMan" definitioner kan frostangrepp "gömma" sig i begreppen vittring och spjälkning. Frostskador finns inte representerad varken som en enskild skadetyper eller skadeorsaker. Då det i dagsläget inte är möjligt att söka på byggår, skadeorsaker eller reparationsmetoder, eller liknande, vilket innebär att varje konstruktion måste undersökas en efter en. Kriterierna för att en konstruktion skall bedömas som lämplig för en fortsatt studie i del 2 redovisas här.

Fundamentala parametrar:

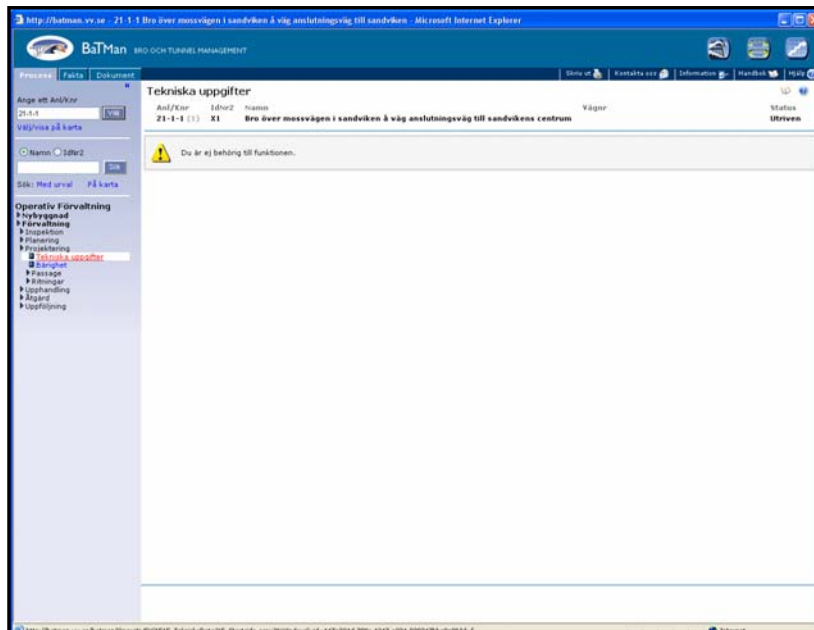
- Konstruktionen måste vara en bro
- Bron måste sträcka sig över någon form av vattendrag
- Någon del av konstruktionen (t.ex. pelare, frontmur eller liknade) måste vara i kontakt med vatten
- Bron måste existera och varit använd under ett antal år

Intressanta/viktiga parametrar:

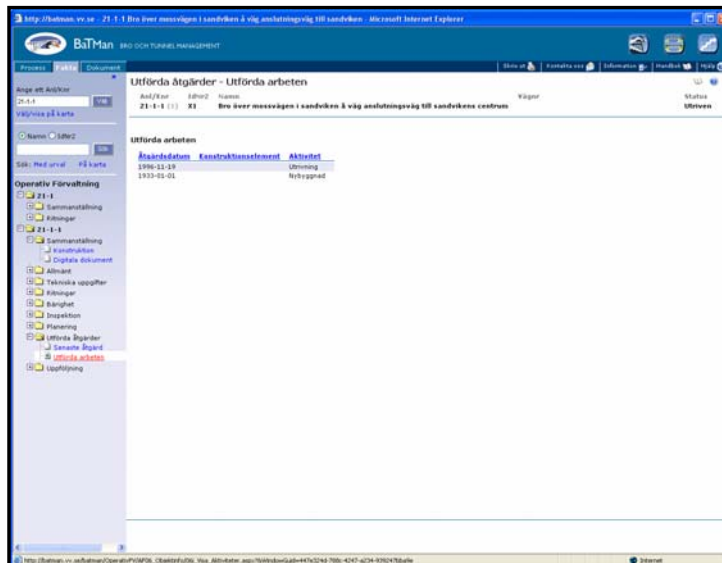
- Tidigare noterade relevanta skador
- Utförda reparationer
- Byggår (AUV-medel)
- Känd Betongtyp/-kvalité



Sökandet utfördes i "Operativ förvaltning".

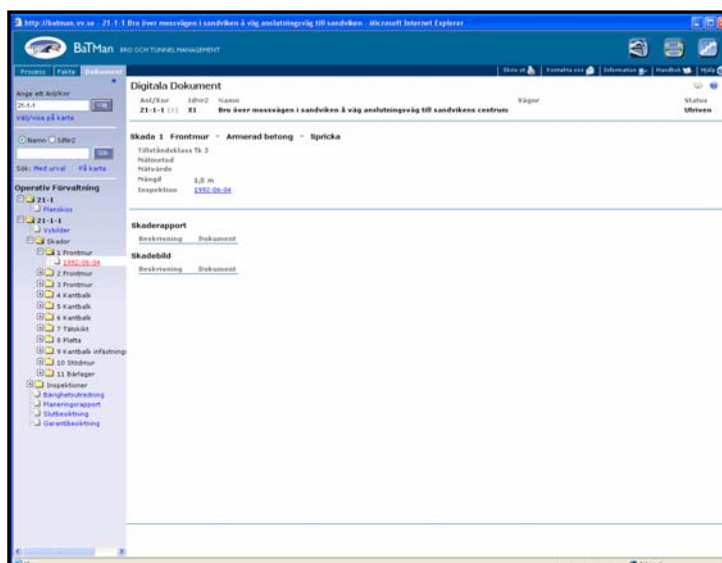


Under fliken "Process" är största delen av informationen inte tillgänglig. Arbetet utförs därför enbart under flikarna "Dokument" och "Fakta"



Under fliken "Fakta" söks information rörande relevanta reparationsarbeten och observationer som kan vara av intresse. De undermappar som används här är:

- Sammanställning
- Allmänt
- Tekniska uppgifter
- Ritningar
- Inspektion
- Utförda åtgärder



Under fliken "Dokumentation" eftersöks information om frostsador och andra relevanta observationer i undermapparna.

- Skador
- Inspektioner

Då det inte var möjligt att finna någon information om vilken typ av betong som används försvåras arbetet inom denna del av projektet. Det arbete som utförs här kan därför endast betraktas som ett underlag vid sökandet av lämpliga konstruktioner. Det kommer att krävas kompletterande arbete, bl.a. bör platsbesök göras vid de broar som anses vara intressanta för fortsättningen. Vidare krävs det information om den betong som användes vid uppförandet av dessa broar. Slutligen är det viktigt att veta hur långt under

vattenytan en konstruktion eller konstruktionsdel sträcker sig (kopplat till användandet av AUV-medel).

A.3 Resultat

Resultaten från sökningen som beskrivs ovan grundar sig till största del på bilddokumentationer, skaderapporteringar och inspektioner från databasen "BaTMan". Det är i dagsläget för svårt att bedöma vikten av sökresultaten utan att platsbesök utförs. Vidare måste resultaten från sökningen kompletteras med uppgifter om betongen från konstruktionsritningar. 36 av de drygt 300 broarna i undersökningsmaterialet som verkar mest intressanta ur ett Batman-perspektiv är listade nedan i tabell 3.1. Motiveringen till varför dessa broar betraktas som intressanta är att en eller flera av kriterierna som nämns i kapitlet "Metod" är uppfyllda.

Tabell 10.1 De broar som kan vara av intresse för det fortsatta arbetet

ID	Beskrivning	Byggår	Kommentar
21-7-1	Bro över Gavleån vid Forsbacka 559	1956	
21-21-1	Bro över Hosjön utlopp vid Hofors 80	1986	Byggår (?)
21-36-1	Bro över Hoån vid Fagersta 514	1956	Frostskador och rep.
21-39-1	Bro över Dalälven (Grimbron) vid Svedskvarn enskild väg	1937	Frostskada
21-43-1	Bro över Dalälven, Långbron vid Gynsinge å enskild väg	1900 (?)	Pelare i vatten
21-50-1	Bro över Stabäcksån n Stabäck i Sandviken 272	1948	Frostskador och rep.
21-51-1	Jädraån, Backabron vid Backeberg 541	1963	Frostskador och rep.
21-52-1	Bro över Jädraån (Överbybron) vid Överbyn 541	1963	Frostskador och rep.
21-55-1	Bro över Trödjeån n Trödje i Gävle 583	1951	Eventuellt frostskador och rep.
21-59-1	Bro över testeboån vid åbyggeby i Gävle å enskild väg	1989	Byggår (?) och pelare i vatten
21-94-1	Bro över Trönöån vid Trönö 652	1935	Frostskador och rep.
21-888-1	Bro över Gammelstillaån (dammbro) vid Gammelstilla	1991	Dammbro
21-885-1	Bro över Hämmens utlopp vid Svabensverk	1991	Plattbro, frontmurar i vatten
21-886-1	Bro över Glitterån vid Svabensverk	1991	Plattbro, frontmurar i vatten
21-957-1	Bro över Voxnan vid Malvik	1995	Tvåfacksbro, med mittstöd
21-1169-1	Bro över Vadeån vid Bergsjö	1998	Tvåfacksbro, med mittstöd
21-961-1	Bro över sund vid Rönnskär	1995	Plattbro, frontmurar i vatten
21-1222-1	Bro över rossbäcken vid hedsta	1996	Valvbro i betong
21-524-1	Bro över bäck vid Gunnarsbo	1998	rörbro i betong
21-1187-1	Bro över Dalälven vid södra Sundet i Hedesunda	2002	Flerfacksbro, flera pelare i vatten
21-1066-1	Bro över bäck 1 km v Nordanåker	1996	rörbro i betong

21-935-1	Bro över Storsjön (v:a bron) 4 km n Årsunda	1994	Klauffbro
21-987-1	Bro över Näsby sjön vid Storvik	1998	Flerfacksbro, flera pelare i vatten
21-963-1	Bro över Ljusnan vid Vallsta	1996	Flerfacksbro, flera pelare i vatten
21-512-2	Bro över Delångersån vid Forsån, Böle	1996	Tvåfacksbro, med mittstöd
21-909-1	Bro över Enångersån (Kyrkbron) vid Enånger gamla kyrka	1992	Tvåfacksbro, med mittstöd
3-339-2	Bro över Ekolsundsviken vid Ekolsunds station	1992	Flerfacksbro, flera pelare i vatten
3-414-2	Bro över Dalälven , sv Marma	1995	Flerfacksbro, flera pelare i vatten
3-800-1	Bro över Knivstaån, sv Knivsta k:a	1999	plattbro med frontmurar?
3-804-1	Bro över Strömarån n Skärplinge	2000	plattbro med frontmurar?
3-822-1	Bro över kanal vid Ullfors	1999	plattbro med frontmurar?
3-798-1	Bro över Börklingeån vid Nyby	1999	Flerfacksbro, flera pelare
3-799-1	Bro över Långsjöns utlopp, o Sätuna, n Björklinge	1999	Tvåfacksbro, med mittstöd ?
3-820-1	Bro över Vendelån vid Lena kyrka	2002	plattbro med frontmurar?
3-825-1	Bro över Långängsbäcken vid Valla	2001	Plattbro
3-823-1	Bro över Örsundaån i Örsundsbro	2001	Tvåfacksbro, med mittstöd

Av dessa 36 broar är 7 broar intressantare än de övriga. Anledningen är att dessa broar är byggda under senare delen av 90-talet och framåt vilket ökar sannolikheten att det är AUV-medel i betongen. Dessa broar redovisas nedan, se tabell 3.2. De andra broarna torde vara "för" gamla för att betongen skulle kunna innehålla ett sådant tillsatsmedel.

Tabell 10.2 De broar som anses som absolut intressantast att vidare undersöka.

21-957-1	Bro över Voxnan vid Malvik	1995	Tvåfacksbro, med mittstöd
21-1169-1	Bro över Vadeån vid Bergsjö	1998	Tvåfacksbro, med mittstöd
21-1187-1	Bro över Dalälven vid södra Sundet i Hedesunda	2002	Flerfacksbro, flera pelare i vatten
21-987-1	Bro över Näsby sjön vid Storvik	1998	Flerfacksbro, flera pelare i vatten
21-963-1	Bro över Ljusnan vid Vallsta	1996	Flerfacksbro, flera pelare i vatten
3-339-2	Bro över Ekolsundsviken vid Ekolsunds station	1992	Flerfacksbro, flera pelare i vatten
3-414-2	Bro över Dalälven , sv Marma	1995	Flerfacksbro, flera pelare i vatten

Dessa 7 broar är byggda relativt nyligen och förhoppningsvis så har någon, alternativt några, av dessa broar någon konstruktionsdel som är gjuten under frostfritt djup. Denna information går tyvärr inte att erhålla från databasen "BaTMan", därför bör detta undersökas vidare.

A.4 Slutsats

De 7 broarna som presenteras i tabell 3.2 anses som de intressantaste att vidare undersöka huruvida de är lämpliga objekt att ta ut provkroppar ifrån eller ej. Dessa broar har inga skador eller utförda reparationer rapporterade i databasen "BaTMan". Det som motiverar att just dessa broar verkar intressantare än de övriga är framför allt att:

- De är byggda relativt nyligen (AUV-medel)
- De flesta sträcker över lite större vattendrag (tillräckligt djup)

Fortsättningsvis föreslås det att de vattendjup där broarna är anlagda undersöks samt att de betongkvaliteter och tillsatsmedel som användes vid byggandet också undersöks för samtliga av dessa broar. Slutligen bör platsbesök göras vid de här broarna för att kunna utröna till vilken grad det är praktiskt möjligt att utföra den planerade provningen/urtagningen.

A.5 Lista av de undersökta broarna.

Knr IdNr2 Konstruktionsnamn Vägnummer

21-1-1 X1 Bro över mossvägen i sandviken å väg anslutningsväg till sandvikens centrum
21-2-1 X2 Bro över Trösken vid Harnäs i Gävle 76
21-3-1 X3 Bro över Hamrångeån vid Vi i Gävle 583
21-4-1 X4 Bro över s.j. vid Kallbäck 551
21-5-1 X5 Bro över kanalen (dammbron) i sandviken å väg 80
21-6-1 X6 Bro över jädraån vid östanå i sandviken å väg 559
21-7-1 X7 Bro över Gavleån vid Forsbacka 559
21-8-1 X8 Bro över Getbroån o Österbyggebo i Gävle 509
21-9-1 X9 Bro över kanalen (storgatsbron) i sandviken å väg 272
21-11-1 X11 Bro över järvstabäcken vid järvsta å väg e4
21-12-1 X12 Bro över gavleån(ivarsbron) vid mackmyra station å enskild väg
21-13-1 X13 Bro över Myrbäcken sv Berg i Gävle 509
21-14-1 X14 Bro över Nybrobäcken vid Överhärde 559
21-15-1 X15 Bro över s.j. vid överhärde å väg 80
21-16-1 X16 Bro över den s.k. kvarnbäcken s berg å väg 509
21-17-1 X17 Bro över s.j. vid Knaperåsens hållplats i Gävle 533
21-18-1 X18 Vägport under d.o.n.j. vid åbron å väg 272
21-19-1 X19 Bro över enskild väg vid nedre storvik å väg 518
21-20-1 X20 Bro över Fängsjöns utlopp sv Nässja 500
21-21-1 X21 Bro över Hosjöns utlopp vid Hofors 80
21-22-1 X22 Bro över Storån vid Ovansjö kyrka 522
21-24-1 X24 Bro över s.j. 1.5 km n Ockelbo kyrka 303
21-25-1 X25 Bro över Borrsjöån vid Åsen i Kungsgården 302
21-26-1 X26 Bro över den s.k sidsjöbäcken nv tallås å väg 542

- 21-27-1 X27 Bro över hoforskanalen vid å storgatan i hofors å enskild väg
21-28-1 X28 Bro över jädraån sv ivantjärn å väg 542
21-29-1 X29 Bro över trallspår vid åshammar å väg 537
21-30-1 X30 Bro över Oppsjöån vid Stårte kvarn 503
21-31-1 X31 Bro över Norrån Vijbron v Österfärnebo kyrka 503
21-32-1 X32 Bro över bäck n västerhästbo å väg 68
21-33-1 X33 Bro över Ivantjärnsbäcken nv Ivantjärn 542
21-34-1 X34 Bro över s.j. vid Åshammar 537
21-35-1 X35 Bro över enskild väg v fagersta å väg 514
21-36-1 X36 Bro över Hoån vid Fagersta 514
21-37-1 X37 Bro över Hoån vid Tjärnäs 514
21-38-1 X38 Bro över Hoån vid Berg 513
21-39-1 X39 Bro över Dalälven (Grimbron) vid Sevedskvarn på enskild väg
21-40-1 X40 Bro över jädraån vid kungsfors å väg 542
21-41-1 X41 Bro över Vijån vid Ockelbo 579
21-42-1 X42 Bro över d.o.n.j. s ockelbo kyrka å väg 576 (fd 272)
21-43-1 X43 Bro över Dalälven, Långbron vid Gysinge å enskild väg
21-44-1 X44 Bro över Dalälven, Kalvbron vid Gysinge å enskild väg
21-45-1 X45 Bro över flottled vid Långbro i Gävle 76
21-46-1 X46 Bro över gavleån vid bäck å väg 551
21-47-1 X47 Bro över Vallbyggeån vid Storvik 522
21-48-1 X48 Bro över Dalälven (kanalbron) vid Gysinge å enskild väg
21-49-1 X49 Bro över gavleån tröskverksbron vid ön å enskild väg
21-50-1 X50 Bro över Stabäcksån n Stabäck i Sandviken 272
21-51-1 X51 Bro över Jädraån, Backabron vid Backberg 541
21-52-1 X52 Bro över Jädraån (Överbybron) vid Överbyn 541
21-53-1 X53 Bro över gavleån vid gustavsbro i Gävle å väg 80
21-53-2 X53 Bro över gavleån vid gustavsbro i Gävle å väg 80
21-54-1 X54 Bro över Björkeån vid Björke i Gävle 583
21-55-1 X55 Bro över Trödjeån n Trödje i Gävle 583
21-56-1 X56 Bro över Laån vid Åbron 272
21-57-1 X57 Bro över timmerspår vid högbacka å väg e4
21-58-1 X58 Bro över Tönnångersån s Tönnebro i Gävle E4
21-59-1 X59 Bro över testeboån vid åbyggeby i Gävle å enskild väg
21-60-1 X60 Bro över gavleån (sågbron) so lund å enskild väg
21-61-1 X61 Bro över Hoån vid Vall 511
21-62-1 X62 Bro över den s.k. Ersbäcken vid Särsta 513
21-63-1 X63 Bro över Testeboån, Sundsbron vid Ockelbo 272
21-64-1 X64 Bro över Ålboån vid Smedsäng i Gävle 67
21-65-1 X65 Bro över Jädraån (norrbron) nv Järbo på enskild väg
21-66-1 X66 Bro över s.j. vid Järbo 542
21-67-1 X67 Bro över Storån vid Åshammar 538
21-68-1 X68 Bro över Hästboån vid Åsmundshyttan 512
21-69-1 X69 Bro över flottningskanal vid axmarsbruk i Gävle å väg 583
21-70-1 X70 Bro över Gramrebäcken vid Gramre 272
21-71-1 X71 Bro över hoån i hofors å väg 514
21-72-1 X72 Bro över digerbäcken vid digeränge å väg 302
21-73-1 X73 Bro över jädraån vid järbo å väg 302

- 21-74-1 X74 Bro över den s.k. Garnmyrån vid Kjessmansbo i Gävle 509
21-75-1 X75 Bro över Ölboån vid Ölbo i Gävle 509
21-76-1 X76 Bro över Hamrångeån vid Vattharen i Gävle 575,1
21-77-1 X77 Bro över d.o.n.j. 0.8 km o åbydal i Gävle å väg 575.1 genom hagalund och vattharen
21-78-1 X78 Bro över totrabäcken vid sand å väg 575
21-79-1 X79 Bro över Lexbäcken 2 km v Storsvadsbro i Gävle 303
21-81-1 X81 Bro över bangården vid nedre storvik å väg 518
21-83-1 X83 Bro över skärjåns norra gren vid axmarsbruk å väg 583
21-84-1 X84 Bro över kraftkanal vid axmarsbruk å väg 583
21-85-1 X85 Vägport under s.j. vid hofors station robertsholm å enskild väg
21-86-1 X86 Bro över Hoån vid Torsåkers station 515
21-87-1 X87 Bro över kanal (bäckbron) vid gysinge å väg 504
21-88-1 X88 Bro över s.j. vid gysinge å väg 254
21-89-1 X89 Bro över den s.k. kvarnbäcken (vijbron) vid hedesunda kyrka å väg 254
21-90-1 X90 Bro över henningebäcken vid henninge å väg 272
21-92-1 X92 Bro över hå-vallviksbanan o hå å väg 629
21-93-1 X93 Bro över Florån vid Florkvarn 621
21-94-1 X94 Bro över Trönöån vid Trönö 652
21-95-1 X95 Bro över höleån vid ulva å väg 652
21-96-1 X96 Bro över den s.k. Norrån vid å i Norrala 583
21-97-1 X97 Bro över Florån, Tvärån vid Glössbo 50
21-98-1 X98 Bro över decauvillespår vid sandarne å enskild väg
21-99-1 X99 Bro över Iggesundsån o.Industriväg. vid Iggesund E4
21-100-1 X100 Bro över sötvattenstub 1 km s Iggesunds station E4
21-101-1 X101 Bro över s.j. vid åsen 2.5km n lingbo kyrka å väg 272
21-102-1 X102 Bro över lötån vid skogs kyrka å väg 304
21-105-1 X105 Bro över Kilboån o Svedja 628
- 21-1008-1 Bro över bäck 0,3 km o tpl Tegelbruket i Österfärnebo
21-1176-1 Bro över den sk Sidsjöbäcken nv Tallås
21-1216-1 Bro över jvg i Ockelbo
21-906-1 Bro över sj vid åsen 2.5 km n Lingbo stn
21-929-1 Bro över Jädraån sv Ivantjär
21-944-1 Bro över Murån vid Vittersjö
21-888-1 Bro över Gammelstillaån (dammbro) vid Gammelstilla
21-1205-1 Bro över Gäddviksbäcken s Gäddvik
21-136-1 Bro över Flaxnan vid Grängsbo
21-143-1 Bro över Vallasbäcken no. Kammahav
21-885-1 Bro över Hämmens utlopp vid Svabensverk
21-886-1 Bro över Glitterån vid Svabensverk
21-887-1 Bro över Gryckån 4 km s Lövriset
21-907-1 Bro över gc-väg vid Bergavägen i Edsbyn
21-918-1 Bro över Slåttabäcken v Homnabo
21-957-1 Bro över Voxnan vid Malvik
21-958-1 Bro över g-c väg 1.3 km sv Alfta
21-959-1 Bro över gc-väg 0.6 km sv Alfta
21-960-1 Bro över g-c väg vid Alfta
21-977-1 Bro över Ullungens utlopp (norsbron) i Edsbyn

21-1024-1 Bro över bäck 2 km v Jättendal
21-1128-1 Bro över Bergebäcken 2,0 km n Gnarp
21-1169-1 Bro över Vadeån vid Bergsjö
21-445-1 Bro över Framängsån sv Olsbygget
21-897-1 Bro över Harmångersån (Bergebron) vid Bergsjö
21-926-1 Bro över bäck 1 km n Bergsjö
21-961-1 Bro över sund vid Rönnskär
21-1072-1 Bro över Våljeån vid Hennan
21-1194-1 Bro över gc-väg i Nybo 5 km s Järvsö
21-1204-1 Bro över gc-väg 2 km so Ygskorset
21-1222-1 Bro över rossbäcken vid hedsta
21-524-1 Bro över bäck vid Gunnarsbo
21-900-1 Bro över Sånghusån vid Kärrbacken
21-903-1 Bro över Stocksboån (Skänkbron) s Stocksbo
21-904-1 Bro över Stocksboån (Bergebron) vid Stocksbo
21-939-1 Bro över Norsundet 10 km so Järvsö
21-979-1 Bro över Kårån (sågbaksbron) 1 km o Kårböle
21-1042-1 Bro över bäck vid Axmarbruk
21-1057-1 Bro över bäck 1 km nv Brännsågen
21-1180-1 Bro över Häckelsängsbäcken i Saltvik
21-1187-1 Bro över Dalälven vid södra Sundet i Hedesunda
21-1218-1 Bro över kostig vid Hamrångeån vid Vi
21-705-2 Bro över Tångsån 1.8 km n Hyttön i Gävle
21-706-2 Vägport under enskild väg 1.7 km so Dalen
21-707-2 Vägport under enskild väg 3 km n dalen i Gävle
21-708-2 Bro över enskild väg 1.7 km so Johannesberg i Gävle
21-7-1 Bro över Gavleån vid Forsbacka
21-933-2 Bro över enskild väg vid Murlanda i Gävle
21-962-1 Bro över Rångstaån 1.5 km v Hedesunda
21-965-1 Bro över allmänväg i tpl Johanneslöt i Gävle
21-966-1 Bro över rampväg (4k) i tpl Johanneslöt i Gävle
21-967-1 Bro över kommunal väg i tpl Johanneslöt i Gävle
21-998-2 Bro över Glamsbäcken vid Mårtsbo
21-1045-1 Bro över gc-väg vid Orrberg 2 km no Sandviken
21-1066-1 Bro över bäck 1 km v Nordanåker
21-1091-1 Bro över bäck vid Grönsinka
21-895-1 Bro över Jädraån i Järbo
21-901-1 Bro över Bangården vid nedre Storvik
21-910-1 Bro över Jädraån vid Järbo
21-912-1 Bro över Fänjaån i Årsunda
21-930-1 Bro över Jädraån vid Kungsfors
21-931-1 Bro över bv (jvg) vid Ulriksdal i Sandviken
21-934-1 Bro över Storsjön (ö:a bron) 4 km n Årsunda
21-935-1 Bro över Storsjön (v:a bron) 4 km n Årsunda
21-964-1 Bro över allmän väg vid tpl Sandviken v.
21-980-1 Bro över Jädraån vid Västanbyn n Sandviken
21-984-1 Vägport under allmän väg (tpl tegelbruket) vid Storvik
21-985-1 Vägport under Toretorpsvägen vid Storvik
21-986-1 Bro över allmän väg vid Storvik

21-987-1 Bro över Näsby sjön vid Storvik
21-988-1 Bro över Marinavägen vid Storvik
21-989-1 Bro över Vallbyån vid Storvik
21-990-1 Bro över kanal vid Storvik
21-991-1 Bro över allmän väg vid Storvik
21-993-1 Bro över Skommargatan vid Storvik
21-994-1 Bro över Syltbäcken vid Storvik
21-995-1 Bro över allmän väg (tpl mom) i Storvik
21-996-1 Vägport under gc-väg (tpl mom) vid Storvik
21-1000-1 Vägport under gc-väg i tpl Söderhamn s
21-1001-1 Bro över gc-väg i tpl Söderhamn s
21-1002-1 Bro över gc-väg i tpl Söderhamn s
21-1003-1 Bro över gc-väg vid Söderhamn
21-1019-1 Bro över gc-väg vid Holmen s Söderham
21-1155-1 Vägport under enskild väg 1,5 km no Norrala k:a
21-1156-1 Bro över jvg, Ostkustbanan, vid Styvje nnv Söderhamn
21-1159-1 Bro över Bellerängsbäcken 1,5 km v Losjö
21-1168-1 Bro över motionsspår vid Borg nnv Söderhamn
21-1198-1 Bro över bäck vid Maråker
21-1212-1 Bro över gc-väg vid Mo k:a
21-1226-1 Bro över Måndagsbäcken 2 km n Losjö
21-871-1 Bro över gång- och viltstig 2,2 km sv Losjö
21-874-1 Bro över Bällerängsbäcken 1 km v Losjö
21-924-1 Vägport under Motionsspår o Stortjärnen nnv Söderhamn
21-925-1 Bro över enskild väg vid Styvje nnv Söderhamn
21-945-1 Bro över Losjövägen 0,9 km v Losjö, tpl Svalarna,
21-968-1 Bro över allmän väg nnv Söderhamn (tpl Styvje)
21-969-1 Bro över jvg, ostkustbanan, vid Styvje nnv Söderhamn
21-969-2 Bro över jvg, ostkustbanan, vid Styvje nnv Söderhamn
21-970-1 Bro över motionsspår vid Borg nnv Söderhamn
21-971-1 Bro över väg 643 2 km so Norrala k:a
21-972-1 Bro över Norralaån 1.8 km so Norrala k:a
21-972-2 Bro över Norralaån 1.8 km so Norrala k:a
21-973-1 Bro över väg e4 1,6 km o Norrala k:a
21-975-1 Bro över viltstig 2.3 km n Norrala k:a
21-975-2 Bro över viltstig 2.3 km n Norrala k:a
21-976-1 Bro över Hölesån 3 km no Glössb
21-1006-1 Bro över gc-väg vid Sävstaås i Bollnäs
21-1229-1 Bro över gc-väg i Sibo
21-1230-1 Bro över jvg vid Voxsäter 5 km s Bollnäs
21-1232-1 Bro över Partån vid Vallsta
21-890-1 Bro över sj vid Höglunda i Bollnäs
21-891-1 Bro över gc-väg vid Höglunda i Bollnäs
21-892-1 Bro över gc-väg vid Iogt i Bollnäs
21-908-1 Bro över Dalsjöån vid Bogården no Vallsta
21-915-1 Bro över v Saggens utlopp vid Rimsbo, s Bollnäs
21-917-1 Bro över gc-väg vid Norrlandsporten sso Lilltjära
21-921-1 Bro över gc-väg vid Karlslundsplan i Bollnäs
21-938-1 Bro över Istesjöns utlopp vid Iste

- 21-963-1 Bro över Ljusnan vid Vallsta
- 21-1017-1Bro över Lumpån vid Älvesjöns utlopp, östra bron,
- 21-1140-1Bro över Sörsundet vid Kuggör
- 21-1145-1Bro över Hallstaån 3 km nv Hudiksvall
- 21-1195-1Bro över gc-väg vid Forsa Folkhögskola
- 21-1221-1Bro över gångstig 0,8 km o Djupadal
- 21-512-2 Bro över Delångersån vid Forsån,Böle
- 21-518-1 Bro över Lumpån vid Älvesjöns sydspets
- 21-909-1 Bro över Enångersån (Kyrkbron) vid Enånger gamla kyrka
- 21-919-1 Bro över Nianån vid Noret sv Nianfors
- 21-922-1 Bro över Hästån vid Hästån v Nianfors
- 21-923-1 Bro över Hallstaån 3 km n Hudiksvall
- 21-941-1 Bro över Hedsjöns utlopp 1.8 km nv Nora
- 21-943-1 Bro över Avasjöns utlopp (lilla norsbron) 0.4 km s Delsbo k:a
- 21-946-1 Vägport under enskild väg 4.5 km n Losjö
- 21-947-1 Bro över Åtjärnsbäcken och enskild väg 2.5 km o Östra Bölan
- 21-947-2 Bro över Åtjärnsbäcken och enskild väg 2.5 km o Östra Bölan
- 21-948-1 Bro över enskild väg 2.5 km no Östra Bölan
- 21-948-2 Bro över enskild väg 2.5 km no Östra Bölan
- 21-949-1 Bro över väg e4 2,6 km km sv Enångers k:a (tpl Ångersjön)
- 21-954-1 Bro över jvg, 1.2 km so Enångers k:a
- 21-955-1 Bro över jvg, Ostkustbanan, 2,5 km sv Enångers k:a
- 21-956-1 Bro över jvg 1.5 km nv Enångers k:a
- 21-978-1 Bro över Ångaån i Oppänge n Enånger
- 21-997-1 Bro över motionsspår 1 km so Enångers k:a
- 21-999-1 Bro över Dalboån 6 km s Strömsbruk
- 21-1005-1Bro över gc-väg i Ljusdal
- 21-1027-1Bro över timmerränna vid långbro i gävle (nedströms x45)
hemlingby - furuvik på gc-väg
- 21-1071-1Bro över bäck 4 km s gävle å väg e4
- 21-1173-1Bro över gc-väg v Furuvik
- 21-1185-1Bro över Ölboån vid Ölbo å gc-väg (nx75)
- 21-1186-1Gc-bro över Kilån vid Kilafors
- 21-1193-1Bro över bäck vid Lissbo i Storvik
- 21-1196-1Bro över Myrbäcken sv Berg i Hedesunda å gc-väg (n x13)
- 3-339-2 Bro över Ekolsundsviken vid Ekolsunds station
- 3-340-2 Bro över ramp i rastplats Ekolsund
- 3-550-2 Bro över enskild väg vid Appale
- 3-551-2 Bro över enskild väg vid Brunna
- 3-557-2 Bro över skogsväg n Krägga station
- 3-566-1 Bro över gc-väg i rastplats Ekolskrog
- 3-412-2 Bro över allmän väg vid tpl Mehedeby
- 3-414-2 Bro över Dalälven , sv Marma
- 3-415-2 Bro över enskild väg vid 1.3 km no Hyttön
- 3-416-2 Bro över väg vid tpl Hyttön
- 3-513-2 Bro över enskild väg 3.5 km so Hyttön
- 3-627-1 Bro över bv (jvg) i Marma
- 3-634-1 Bro över bv (jvg) i Marma
- 3-635-1 Bro över bv (jvg) vid Tensmyra

- 3-782-1 Bro över jvg 2 km n Älvkarleö
- 3-613-1 Bro över jvg (bv) i Alsike
- 3-797-1 Bro över Husbyån vid Tilasgården i Husby
- 3-800-1 Bro över Knivstaån, sv Knivsta k:a
- 3-573-1 Bro över sj n Tobo
- 3-584-1 Bro över sj vid Knyppplan ssv Dannemora
- 3-585-1 Bro över sj vid Skinnarbo sso Örbyhus
- 3-591-1 Bro över bv v Skogsbo so Tierp
- 3-596-1 Bro över bv, jvg, so Örbyhus stn
- 3-616-1 Bro över Tämnaån (storåbron) vid Karlholms bruk
- 3-633-1 Bro över bv (jvg) vid Mehedeby
- 3-804-1 Bro över Strömarån n Skärplinge
- 3-822-1 Bro över kanal vid Ullfors
- 3-567-1 Bro över gc-väg vid Trekanten i Uppsala
- 3-575-1 Bro över allmän väg s Forsmarksparken i Uppsala å Bärbyleden
- 3-576-1 Bro över gc-väg nv Fyrisvallen i Uppsala å Bärbyleden
- 3-577-1 Bro över Fyrisån vid Fyrisvallen i Uppsala å Bärbyleden
- 3-578-1 Bro över gc-väg n Fyrisvallen i Uppsala å Bärbyleden
- 3-582-1 Bro över Bärbyleden (v:a bron) i tpl Röbo i Uppsala
- 3-587-1 Bro över Fyrisån so Skyttorps station
- 3-597-1 Bro över bäck no Stavby
- 3-598-1 Bro över Skebergaån vid Skeberga
- 3-599-1 Bro över kanal vid Norrboda
- 3-600-1 Bro över Bärbyleden (ö:a bron) i tpl Röbo i Uppsala
- 3-601-1 Bro över gc-väg o tpl Röbo i Uppsala
- 3-603-1 Bro över gc-väg n tpl Röbo i Uppsala å Bärbyleden
- 3-604-1 Bro över bäck, Samnan, vid Vedyxa i Uppsala
- 3-605-1 Bro över koväg vid Vedyxa i Uppsala
- 3-606-1 Bro över gc-väg v Bärby i Uppsala
- 3-614-1 Bro över Berthåga byväg och ramp vid Berthåga tpl i Uppsala å Bärbyleden
- 3-615-1 Bro över Vällen no Bladåkers k:a
- 3-707-1 Bro över gc-väg vid Vänge k:a v Uppsala
- 3-708-1 Bro över Vängeån vid Vänge k:a v Uppsala
- 3-798-1 Bro över Börklingeån vid Nyby
- 3-799-1 Bro över Långsjöns utlopp, o Sätuna, n Björklinge
- 3-802-1 Bro över Boskapsstig vid Ekeby i Vänge
- 3-820-1 Bro över Vendelån vid Lena kyrka
- 3-824-1 Bro över gc-väg vid Sävja i Uppsala
- 3-827-1 Bro över gc-väg i Lövstalöt
- 3-336-2 Bro över enskild väg v Prästtorp
- 3-337-2 Bro över allmän väg nv Ekolsunds station
- 3-402-2 Bro över enskild väg till Sätarna i Enköping
- 3-404-2 Bro över enskild väg vid Knoppbacka
- 3-405-2 Bro över allmän väg i tpl Grillby
- 3-547-2 Bro över Fiskviks kanal 2 km no Grillby
- 3-556-2 Bro över skogsbilväg vid Offerkast ono Grillby
- 3-564-2 Bro över gångväg s Vällinge i Enköping
- 3-568-1 Bro över gc-väg v Sävja i Uppsala
- 3-620-1 Vägport under gc-väg vid Varsta i Uppsala

- 3-805-1 Bro över dike vid Tjursåker
- 3-825-1 Bro över Långängsbäcken vid Valla
- 3-574-1 Bro över gc-väg i Alunda
- 3-588-1 Bro över Olandsån vid Gimo
- 3-803-1 Bro över bäck v Sjöbo
- 3-823-1 Bro över Örsundaån i Örsundsbro

Artikel II. Betongrecept - Förstudie

Grundrecept

Grundrecept9 vct=0,45

2003-04-23

08.49

Anm:

Referens

vct:	0,45	
Bindemedelhalt:	400	kg/m³
Densitet ballast:	2,6	ton/m³
Densitet bindemedel:	3,1	ton/m³
Satsvolym:	140	liter
Lufthalt:	1	%
Densitet Fillers		ton/m³

	Beståndsdel	kg/m³	kg/sats			Red. kg/sats
	Cement	400	56,000			56,000
	Vatten	180	25,200			21,190
%	Ballastfrakt.	kg/m³	kg/sats	Fukthalt	Fuktmängd	
39	16-32	690,50	96,670			96,670
8	8-16	141,64	19,830			19,830
33	0-8	584,27	81,798	3	2,454	84,252
	4-8					
20	0-1	354,10	49,574	2	0,991	50,566
	0.25-0.5					
	0.125-0.25					
	0-0.125					
Summa:	100	1770,52	247,872		3,445	251,318
%B	Tillsatsmedel:	kg/m³	kg/sats	Torrhalt	Vatt.mängd	
1,6	Sikaflyt	6,400	0,896	37	0,564	0,896
	Sikaluft			4,5		
0,5	SikaAUV	2,000	0,280	100		0,280
	Retarder					
Summa:		8,400	1,176		0,564	1,176
%B	Tillsatsmtrl:	kg/m³	kg/sats			
	Silica					
	Slagg					
	Fibrer					
Summa:						
Totalsumma:		2358,92	330,248		4,010	330,248

Blandningsordning

- 1 Tillsätt alla torra material - blanda 1min
- 2 Tillsätt vattnet (spara ca. 10 %), hälften av flytmedlet, all luftporbildare - blanda 2min
- 3 Låt betongen stå stilla i 1min
- 4 Tillsätt resten av flytmedlet och blanda i 2min

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS-
OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB